

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS**

**IDAMAR DA SILVA LIMA**

**PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO, LIXIVIAÇÃO DE NUTRIENTES E  
DESENVOLVIMENTO DO GIRASSOL (*Helianthus annuus* L) EM ARGISSOLO  
AMARELO TRATADO COM BIOCARVÃO**

**SÃO CRISTOVÃO-SE**  
**FEVEREIRO-2016**

IDAMAR DA SILVA LIMA

**PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS, LIXIVIAÇÃO DE NUTRIENTES E  
DESENVOLVIMENTO DO GIRASSOL (*Helianthus annuus* L) EM ARGISSOLO  
AMARELO TRATADO COM BIOCARVÃO**

Dissertação de mestrado apresentada  
ao núcleo de pós-graduação em  
Recursos Hídricos como um dos  
pré-requisitos a aquisição do título  
de mestre em recursos hídricos.

Orientadora: Dr<sup>a</sup> Maria Isidória Silva Gonzaga

São Cristovão-SE

Fevereiro-2016

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

L732p Lima, Idamar da Silva  
Parâmetros físico-hídricos, lixiviação de nutrientes e desenvolvimento do girassol (*Helianthus annuus* L) em argissolo amarelo tratado com biocarvão / Idamar da Silva Lima ; orientador Maria Isidória Silva Gonzaga. – São Cristóvão, 2016.  
79 f. : il.

Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Sergipe, 2016.

1. Recursos hídricos. 2. Girassol. 3. Terra preta. 4. Solos - Lixiviação. 5. Plantas e solo. 6. Física do solo. I. Gonzaga, Maria Isidória Silva, orient. II. Título.

CDU 556.18:66.061.34

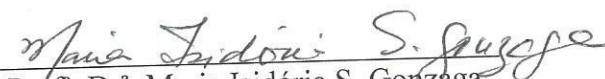
IDAMAR DA SILVA LIMA

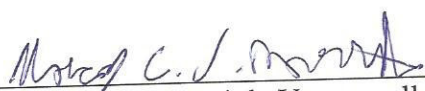
**PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS, LIXIVIAÇÃO DE NUTRIENTES E  
DESENVOLVIMENTO DO GIRASSOL (*Helianthus annuus* L) EM ARGISSOLO  
AMARELO TRATADO COM BIOCARVÃO**

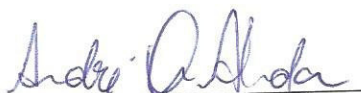
Dissertação de mestrado apresentada  
ao núcleo de pós-graduação em  
Recursos Hídricos como um dos  
pré-requisitos aquisição do título de  
mestre em recursos hídricos.

APROVADO em: 29/02/2016

BANCA EXAMINADORA

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Isidória S. Gonzaga  
(Orientadora)

  
Prof. Dr. Marcos Cabral de Vasconcellos Barretto

  
Prof. Dr. André Quintão de Almeida

São Cristóvão-SE

Fevereiro-2016

## **DEDICO**

Aos meus pais Maria e Joaquim

A minha esposa Thais Lima

A minha avó Josefa que nos deixou a pouco mais de um ano

## **AGRADECIMENTOS**

A universidade Federal de Sergipe e ao programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos (PRORH) pela oportunidade.

Aos professores do PRORH, em especial a minha orientadora professora Maria Isidória por todos os ensinamentos e por estar sempre a disposição para contribuir com o que fosse preciso, tenho a certeza que não poderia ter melhor orientadora.

Aos professores Andre quintão e Marcus Cabral, membros da banca, não só por aceitarem esse convite, mas também por contribuírem com o desenvolvimento deste trabalho.

A todos os amigos do curso de turma que tive o prazer de conhecer e compartilhar conhecimentos.

A toda a equipe do Laboratório de Remediação de Solos e laboratório de Água e Solo que contribuíram ativamente com todo o projeto desde implantação até as análises finais.

Aos colegas técnicos e professores da UFS em especial ao técnico Wendel e toda a equipe do campus rural pela contribuição no desenvolvimento do trabalho.

A todos que torceram e contribuíram de alguma forma com minhas conquistas.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>8</b>
<b>RESUMO GERAL .....</b>	<b>10</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>11</b>
<b>1- INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2- REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>13</b>
2.1- BIOCÁRVÃO.....	13
2.1.1- Origem do Biocárvão .....	13
2.1.2- Importância do biocárvão na atualidade.....	16
2.1.3- Características do biocárvão.....	18
2.2- INFLUÊNCIA DO BIOCÁRVÃO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO .....	19
2.3- INFLUÊNCIA DO BIOCÁRVÃO NAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO .....	20
2.3.1- Nitrogênio em solos tratados com biocárvão .....	20
2.3.2- FÓSFORO E POTÁSSIO EM SOLOS TRATADOS COM BIOCÁRVÃO .....	21
2.4- CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CULTURAS AGRONÔMICAS EM SOLOS TRATADOS COM BIOCÁRVÃO .....	22
2.5- BIOCÁRVÃO E O SEQUESTRO DE C NO SOLO .....	24
2.6- REFERÊNCIAS .....	24
<b>3-INFLUÊNCIA DO BIOCÁRVÃO DE CASCA DE COCO EM ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO E NO SEQUESTRO DE CARBONO .....</b>	<b>31</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>31</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1-INTRODUÇÃO .....</b>	<b>32</b>
<b>3.2-MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>33</b>
3.2.1. COLETA E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO.....	34
3.2.3- INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	37
3.2.4. ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO .....	39
3.3.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	41

<b>3.3-RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>41</b>
3.3.1. EFEITO DO BIOCARVÃO EM ALGUNS PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO .....	41
3.3.2. EFEITO DO BIOCARVÃO EM ALGUNS PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO .....	44
<b>3.4- CONCLUSÃO .....</b>	<b>50</b>
<b>3.5-REFERÊNCIAS .....</b>	<b>51</b>
<b>4- BIOCARVÃO E SEU EFEITO NO DESEMPENHO DA CULTURA DO GIRASSOL E NA LIXIVIAÇÃO DE NUTRIENTES NO SOLO .....</b>	<b>54</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>54</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>54</b>
<b>4.1- INTRODUÇÃO .....</b>	<b>55</b>
<b>4.2- MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>57</b>
<b>4.3- RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>64</b>
4.3.1. EFEITO DO BIOCARVÃO NO DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DE BIOMASSA DO GIRASSOL.....	64
4.3.2. EFEITO DO BIOCARVÃO EM ALGUNS PARÂMETROS QUÍMICOS DA SOLUÇÃO DO SOLO...	67
<b>4.4- CONCLUSÃO .....</b>	<b>72</b>
<b>4.5-REFERÊNCIAS .....</b>	<b>73</b>
<b>5- CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>76</b>



## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Atributos físicos e químicos do horizonte superficial do Argissolo Vermelho Amarelo utilizado no estudo. São Cristóvão, SE.....	34
Tabela 3.2: Composição elementar do biocarvão de casca de coco utilizado no estudo. São Cristóvão-SE.....	36
Tabela 3.3: Composição elementar da casca de coco utilizada na produção do biocarvão. São Cristóvão-SE.....	37
Tabela 4.1: Atributos físicos e químicos do horizonte superficial do Argissolo Vermelho Amarelo utilizado no estudo. São Cristóvão-SE. ....	58
Tabela 4.2: Composição elementar do biocarvão de coco. São Cristóvão-SE.....	59
Tabela 4.3: Composição elementar da casca de coco. São Cristóvão-SE. ....	59

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Perfis de Latossolo Amarelo típico da região Amazônica (a esquerda) e do solo antropizado conhecido como terra preta de índio (a direita). Fonte: Wood e Glaser, (2004).	14
Figura 2.2- Esquema de transformação de biomassa em biocarvão através da pirólise. Fonte: Hawaii Agriculture Notes: Biochar (2009).	16
Figura 2.3. O ciclo do carbono em condições naturais (à esquerda) e com a produção e aplicação de biocarvão ao solo (à direita). Fonte: Biochar Solutions inc. (2011).	18
Figura 3.1. Forno tipo TLUD, utilizado para produção de biocarvão. São Cristóvão-SE.	35
Figura 3.2: (A) Biocarvão após o processo de carbonização, (B) biomassa vegetal utilizada (cascas de coco seco). São Cristóvão-SE.	36
Figura 3.3: Preenchimento dos primeiros 30 cm do vaso apenas com solo. São Cristóvão-SE.	38
Figura 3.4: Preenchimento dos últimos 20 cm com a mistura de solo e biocarvão. São Cristóvão-SE.	38
Figura 3.5: Visão geral do experimento (parcelas). São Cristóvão-SE.	39
Figura 3.6 Capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e disponibilidade total de água (DTA) no solo na camada de 0-20 cm no final do experimento (74 dias após a aplicação), em função das doses de biocarvão. $R^2$ seguido por ** e * são significativos a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F e <sup>(ns)</sup> não significativo. São Cristóvão-SE	42
Figura 3.7: Densidade do solo na camada de 0-20 cm no final do experimento (74 dias após a aplicação), em função das doses de biocarvão. $R^2$ seguido por ** e * são significativos a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F e <sup>(ns)</sup> não significativo. São Cristóvão-SE	43
Figura 3.8: Macro e Microporosidade na camada de 0-20 cm no final do experimento, em função das doses de biocarvão, $R^2$ seguido por **, * e . são significativo a 1%, 5% e 10% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F e <sup>(ns)</sup> não significativo. São Cristóvão	44
Figura 3.9: pH e alumínio disponível (Al) na camada de 0-20 cm, em função das doses de biocarvão. $R^2$ seguido por **, * são significativo a 1%, e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F e <sup>(ns)</sup> não significativo. São Cristóvão-SE.	45

- Figura 3.10: Cálcio (Ca) magnésio (Mg) na camada de 0-20 cm, em função das doses de biocarvão. R<sup>2</sup> seguido por \*\*, \* são significativos a 1%, e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F e <sup>(ns)</sup> não significativo. São Cristovão-SE.....46
- Figura 3.11: Fósforo (P) e Potássio (K) disponíveis na camada de 0-20 cm, em função das doses de biocarvão. R<sup>2</sup> seguido por \*\*, \* são significativos a 1%, e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F e <sup>(ns)</sup> não significativo. São Cristovão-SE.....47
- Figura 3.12: Potássio (K) disponíveis no final do experimento na camada de 20-40 cm, em função das doses de biocarvão. R<sup>2</sup> seguido por \*\*, \* são significativos a 1%, e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F e <sup>(ns)</sup> não significativo. São Cristovão-SE.....47
- Figura 3.13: Condutividade elétrica do solo (CE) e sódio (Na) disponível na camada de 0-20 cm, em função das doses de biocarvão. R<sup>2</sup> seguido por \*\*, \* são significativo a 1%, e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F e <sup>(ns)</sup> não significativo. São Cristovão-SE.....48
- Figura 3.14: Capacidade de troca de cátion efetiva (CTC efetiva) na camada de 0-20 cm, em função das doses de biocarvão. R<sup>2</sup> seguido por \*\*, \* são significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F e <sup>(ns)</sup> não significativo. São Cristovão-SE.....49
- Figura 3.15: Carbono Orgânico Total (COT) e estoque de carbono na camada de 0-20 cm, em função das doses de biocarvão. R<sup>2</sup> seguido por \*\*, \* são significativo a 1%, e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F e <sup>(ns)</sup> não significativo. São Cristovão-SE.....50
- Figura 4.1: Consumo de água ao longo do ciclo da cultura do girassol. São Cristovão-SE. ...61
- Figura 4.2: (A) avaliação do diâmetro do caule, (B) avaliação do diâmetro do capítulo. São Cristovão-SE. ....62
- Figura 4.3: Extratores instalados em todos os vasos. São Cristóvão-SE.....63
- Figura 4.4: Estágio fenológico R5.10, estágio da colheita da plantas. São Cristovão-SE. ....64
- Figura 4.5: Porcentagem de germinação das sementes de girassol em função de doses crescentes de biocarvão. R<sup>2</sup> seguido por \*\* e \*significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F e <sup>(ns)</sup> não significativo. São Cristovão-SE.....65
- Figura 4.6: (A) Número de folhas, (B) Altura das plantas, (C) Diâmetro do caule, (D) Diâmetro do capítulo, (E) Massa seca do capítulo, (F) Massa seca total da planta,

em função de doses de biocarvão,  $R^2$  seguido por \*\* e \*significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F e <sup>(ns)</sup> não significativo. São Cristovão-SE.....67

Figura 4.7: Concentração de amônio (NH<sub>4</sub>) e nitrato (NO<sub>3</sub>) na solução do solo na profundidade de 0-20 cm, em função das doses de biocarvão.  $R^2$  seguido por \*\* e \*significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F e <sup>(ns)</sup> não significativo. São Cristovão-SE .....68

Figura 4.8: (A) Concentração fósforo e (B) concentração de potássio na solução do solo na profundidade de 0-20 cm, (C) Concentração fósforo e (D) concentração de potássio na solução do solo na profundidade de 20-40 cm, em função das doses de biocarvão,  $R^2$  seguido por \*\* e \*significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F e <sup>(ns)</sup> não significativo. São Cristovão-SE. ....70

Figura 4.9: (A) Condutividade elétrica e (B) pH na solução do solo na profundidade de 0-20 cm, (C) Condutividade elétrica e (D) pH na solução do solo na profundidade de 20-40 cm, em função das doses de biocarvão,  $R^2$  seguido por \*\* e \*significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F e <sup>(ns)</sup> não significativo. São Cristovão-SE. ....72

## RESUMO GERAL

A utilização de biocarvão no solo vem sendo divulgada em países como Japão e Estados Unidos, onde o comércio do produto já atinge escala comercial. Os benefícios do uso do biocarvão vão além da melhoria na qualidade física, química e biológica do solo, por se tratar de matéria orgânica de natureza resistente e recalcitrante, alcançam também aspectos ambientais de relevada importância regional e mundial, como o sequestro de carbono no solo e a destinação eficiente dos resíduos orgânicos sólidos. O estudo dos efeitos do biocarvão em solos tropicais intemperizados, com baixa capacidade de armazenamento de água e nutrientes, como a maioria dos solos encontrados no Brasil e no Estado de Sergipe, torna-se necessário e poderá viabilizar novas práticas sustentáveis de manejo. Portanto, o presente trabalho avaliou o efeito da aplicação de biocarvão, produzido a partir de casca de coco seco em processo de pirólise lenta, nos atributos físicos e químicos do solo, no armazenamento de carbono, no desenvolvimento e produção de biomassa do girassol e na composição química da solução do solo em diferentes profundidades de coleta. O experimento foi desenvolvido em condições protegidas na Universidade Federal de Sergipe, campus de São Cristóvão-SE, entre os meses de julho e outubro de 2015. O solo utilizado no estudo foi a camada superficial de um Argissolo Vermelho Amarelo. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com 6 tratamentos (doses de biocarvão aplicadas: 0; 2,5; 5; 10, 20 e 30t ha<sup>-1</sup>) e 5 repetições. Aos 62 dias após a emergência (DAE), todas as plantas foram avaliadas, sendo mensurados altura das plantas, com auxílio de régua graduada, diâmetro do caule a 2 cm do solo, com auxílio de paquímetro digital, número de folhas totalmente abertas, diâmetro do capítulo com auxílio de paquímetro digital e colheita das plantas para determinação da produção de biomassa, já a solução do solo foi coletada após específicos eventos de irrigação, sendo essas coletas realizadas aos 6, 13 e 20 dias após semeadura, sendo analisado nesses extratos o pH, CE, concentrações de fósforo, potássio, nitrato e amônio. Aos 7 e 78 dias após a incorporação do biocarvão, foram avaliados no solo os atributos químicos: pH, CE, P disponível e concentrações de trocáveis de K, Na, Al, Ca, Mg e porcentagem C, sendo na profundidade de 0-20 cm para as amostras coletadas 7 dias após incubação e 0-20 cm e 20-40 cm para as amostras coletadas aos 78 dias e atributos físicos: capacidade de campo, ponto de murcha permanente, disponibilidade total de água, densidade do solo, macro e microporosidade do solo, sendo que as análises físicas foram realizadas apenas aos 78 dias após incubação. O armazenamento de carbono no solo no final do experimento foi calculado de acordo com a densidade do solo e profundidade de coleta do solo. A adição do biocarvão proporcionou um aumento nos níveis de P e K na profundidade de 0-20 cm, porém contribuiu com o aumento na lixiviação de potássio visto que aumentou os níveis desse elemento na profundidade de 20-40 cm. Aumentou a CE da solução do solo nas duas profundidades estudadas, podendo ser este um limitante a sua utilização em grandes quantidades. Nas doses utilizadas nesses estudos o biocarvão não proporcionou nenhum benefício nem prejuízos ao desenvolvimento e produção de biomassa do girassol, fato esse que é visto positivamente, pois permite a utilização deste material no solo para outros fins sem causar danos a cultura implantada. A adição do biocarvão reduziu a densidade do solo e aumentou a microporosidade, e como consequência, melhorou a retenção de água no solo em aproximadamente 64% na maior dose aplicada. A presença do biocarvão reduziu a acidez do solo e a disponibilidade de Al, e aumentou a condutividade elétrica e a concentração de Na trocável, tanto no início quanto no final do experimento. Não houve influência do biocarvão nas concentrações trocáveis de Ca e Mg, mas as concentrações de P e de K responderam positivamente ao aumento das doses de biocarvão no início do ensaio, quando nenhum fertilizante químico tinha sido adicionado ao solo. Também observou-se resposta positiva quanto as concentrações de K no final do experimento. Embora tenha sido observado benefício do biocarvão na qualidade física e

química do solo, e na composição da solução do solo, sua aplicação deve ser bem assistida em função de mudanças excessivas na reação, na sodicidade e na salinidade do solo.

Palavras chave: Carbono preto, qualidade física e química solo; crescimento da planta.

### ABSTRACT

The use of biochar in soil has been reported in countries like Japan and the United States, where the product already has reached commercial scale. The benefits of biochar go beyond improving the physical, chemical and biological soil properties, they involve regional and global environmental aspects, such as carbon sequestration in the soil and the efficient disposal of solid organic waste. This is because its resistant and recalcitrant organic nature. Investigation on the effects of biochar in weathered tropical soils with low water and nutrient storage capacity, as in most Brazilian soils and in the State of Sergipe, it is necessary and may stimulate new sustainable management practices. Therefore, the present study evaluated the effect of different rates of application of coconut husk biochar, produced through slow pyrolysis process, in the growth and development of sunflower plants and, in some soil physical and chemical properties. Soil organic carbon storage and soil solution composition were also evaluated. The experiment was conducted under greenhouse conditions at the Federal University of Sergipe, campus of St. Christopher-SE, between the months of July and October 2015. The soil used in the study was the surface layer of an Yellow Ultisol. The experimental design was a randomized complete block with 6 treatments (biochar rates of application: 0, 2.5, 5, 10, 20 and 30t ha<sup>-1</sup>) and 5 replications. Sixty-two days after plant emergence (DAE), all plants were evaluated for plant height, stem diameter at 2 cm of the soil, number of fully expanded leaves, flower diameter, and plant biomass dry weight. Soil solution was collected after specific irrigation events at 6, 13 and 20 days after plant emergence, and analyzed for pH EC, concentrations of P, K, nitrate and ammonium. Seven and 78 days after the incorporation of biochar, soil samples were collected from each experimental pot and analyzed for chemical (pH, EC, P, and exchangeable K, Na, Al, Ca, Mg concentrations, and organic C) and physical (field capacity, permanent wilting point, total water availability, soil bulk density, macro and microporosity) attributes. The physical attributes were only evaluated after 78 days. The soil carbon storage at the end of the experiment was calculated according to the bulk density and depth of the soil sampling. Adding biochar resulted in an increase in the levels of P and K at a depth of 0-20 cm. The high concentration of K at the 20-40 cm layer indicated that the element was leached from the top layer. Soil EC in the soil solution increased at both soil layers indicating a restriction on the use of large amount of biochar. The presence of biochar in the soil, regardless of the rate of application, did not influence the growth and development of sunflower, which can be seen as a positive effect because it means that this type of biochar can be applied to the soil to store carbon without causing harm to the plants. Biochar reduced the soil bulk density and increased microporosity, and as a result, improved water retention in the soil in about 64% at the highest rate of application. Furthermore, the presence of biochar reduced soil acidity and the availability of Al, but increased the electrical conductivity and the concentration of exchangeable Na, both at the beginning and at the end of the experiment. There was no influence of biochar on exchangeable concentrations of Ca and Mg, but the concentrations of P and K responded positively to the rate of application in the beginning of the experiment, when no chemical fertilizers had been added to the soil. A positive response was observed for the K concentration in the end of the experiment. Although the addition of biochar improved the physical and chemistry quality of the soil, its implementation should be well attended due to excessive changes in soil pH and EC, and increase in Na concentration.

Key words: Black carbon; soil physical and chemical quality; plant growth.

## 1- INTRODUÇÃO

A preocupação com a segurança alimentar e com a escassez dos recursos naturais, sobretudo os recursos hídricos, tem despertado a comunidade científica para mudanças nos atuais sistemas de manejo do solo e para o desenvolvimento de tecnologias mais sustentáveis na agricultura, atividade responsável pelo suprimento de maior parte dos alimentos destinados ao consumo humano. Segundo a UN Population Division (2008), em 2050 haverá 9,2 bilhões de pessoas habitando no mundo e dependendo dos produtos provenientes da agricultura, que tem o solo como base do sistema produtivo.

Estudos recentes realizados na Universidade Federal de Sergipe apontam a depleção da matéria orgânica dos solos (MOS) de áreas agrícolas no estado de Sergipe como um dos principais entraves para o desenvolvimento e produtividade das culturas (GUIMARÃES et al., 2013). Além das condições climáticas favoráveis à rápida decomposição dos resíduos orgânicos, esse problema resulta também de fatores como baixa produção de biomassa vegetal e uso de técnicas de preparo do solo que estimulam a perda de MOS, componente fundamental na construção e manutenção da estrutura do solo.

As buscas por alternativas de melhorias na qualidade do solo e na produtividade das culturas encontram no uso de biocarvão uma estratégia de grande potencial agrônomo e ambiental. O biocarvão é constituído na sua maior parte de carbono preto (também chamado “black carbon”, na literatura internacional), com elevada resistência à degradação, e obtido através do tratamento térmico de resíduos orgânicos diversos. A biomassa é submetida ao processo pirolítico em baixa atmosfera de oxigênio, resultando em um material rico em carbono e com estrutura molecular predominantemente aromática, o que o torna estável e recalcitrante.

Por ser um material carbonáceo de grande área superficial específica, elevada CTC e porosidade, o biocarvão pode contribuir para a melhoria da estrutura do solo, aumentar a capacidade de retenção de água e promover o uso mais eficiente dos recursos hídricos e dos nutrientes aplicados ao solo. Com isso haverá redução das perdas por lixiviação e da contaminação das águas superficiais e subterrâneas. Em paralelo, a grande estabilidade estrutural do biocarvão e sua natureza recalcitrante o tornam uma estratégia para mitigação das mudanças climáticas através do sequestro de carbono no solo. Adicionalmente, o uso de biocarvão pode ser uma alternativa eficiente para a melhor destinação dos resíduos orgânicos produzidos em quantidades cada vez maiores, pois acompanham o crescimento populacional e o desenvolvimento dos centros urbanos.

O potencial de uso de biocarvão no solo, tanto para avaliação do sequestro de carbono como para avaliação dos efeitos na qualidade do solo física e química e na produtividade das culturas agronômicas, tem sido objeto de muitos estudos em diversos países e podem contribuir com o uso mais eficiente dos recursos naturais. Porém, a maioria dos estudos é feito com biocarvão produzido a partir de madeira, e outros utilizando restos de cultura como palhas de milho e cascas de arroz. Poucos trabalhos foram publicados até o momento sobre o uso de cascas de coco na produção de biocarvão, uma matéria prima muito interessante, pois além de apresentar elevada quantidade de lignina, o que aumenta o rendimento da produção de biocarvão, também é uma forma de dar destino a esse resíduo que é considerado lixo tanto nas cidades quanto na propriedade rural.

Portanto, o objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito da aplicação de diferentes doses de biocarvão, produzido em processo de pirólise lenta a partir de cascas de coco seco, nos parâmetros físicos-hídricos do solo, na lixiviação de nutrientes e no desenvolvimento da cultura do girassol em condição de casa de vegetação.

## **2- REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1- Biocarvão**

#### **2.1.1- Origem do Biocarvão**

O processo de pirólise, decomposição térmica de resíduos orgânicos a elevadas temperaturas e em baixa concentração de oxigênio, resulta em três subprodutos: 1) Gases não condensáveis, também chamados syngás; 2) Líquidos condensáveis ou bio-óleo; 3) biocarvão, material sólido rico em carbono preto (black C). O biocarvão não é um produto novo. De fato, sua existência data de 5000 anos atrás, quando os egípcios utilizavam a pirólise para produzir ácidos (vinagre de madeira, tars e bio-óleos) para embalsamar corpos (BAUMANN, 1960). Desde então, os produtos provenientes da pirólise têm sido usados como fontes de energia em diversos setores da economia.

Apenas recentemente, com a descoberta das Terras Pretas de Índio (TPI), (Figura 2.1) na Amazônia, o uso de biocarvão no solo começou a ser cogitado. Na verdade, o biocarvão já existia há milhares de anos, em regiões antes habitadas por povos indígenas, os quais, além de promoverem queimadas controladas de áreas florestadas (SOMBROEK et al., 2003), tinham também o hábito de juntar e queimar parcialmente seus resíduos, eventualmente enterrando-os



nas proximidades das residências. Essa é a hipótese mais aceita pela comunidade científica após a descoberta de imensas áreas de solo de cor escura e de elevada fertilidade na região Amazônica, áreas essas circundadas por solos de baixa fertilidade. Os estudos na região Amazônica, nas Terras Pretas de Índio, mostram um modelo de solo com excelentes características agronômicas e ambientais, tendo em vista a alta fertilidade e o alto conteúdo de carbono estável em sua fração orgânica, modelo este adequado ao sequestro de carbono (MAIA 2010). Os solos de Terra Preta da região Amazônica têm sido usados por mais de 2 mil anos (KAMMANN et al., 2012) e possuem alto teor de matéria orgânica (MO) e nutrientes, como nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e cálcio (Ca), quando comparados a solos não antrópicos presentes na região (CUNHA et al., 2009).



**Figura 2.1-** Perfis de Latossolo Amarelo típico da região Amazônica (a esquerda) e do solo antropizado conhecido como terra preta de índio (a direita). Fonte: Wood e Glaser, (2004).

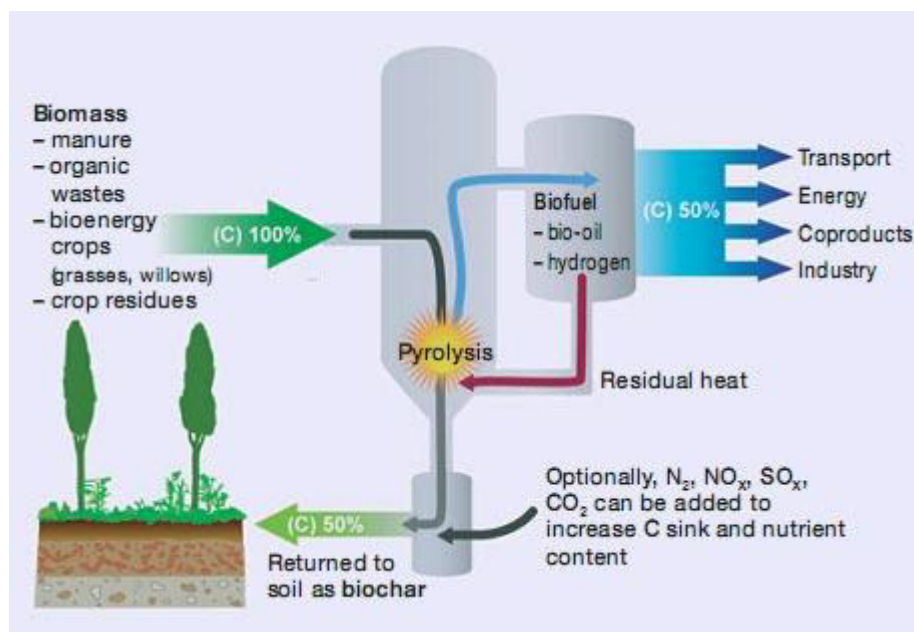
Moreira (2007) verificou que a ação antrópica advinda da ocupação pré-colombiana ocasionou não apenas um aumento na matéria orgânica, mas também uma melhoria na sua qualidade com a manutenção do conteúdo de ácidos húmicos e humina e diminuição de ácidos flúvicos. O caráter eutrófico observado nos solos antropogênicos contrastam com o Latossolo, Neossolo, Argissolo e Cambissolo, típicos da Amazônia.

Para Madari et al. (2009), a quantidade e a qualidade da matéria orgânica das TPI são responsáveis pela manutenção da fertilidade do solo. Devido às suas distintas características físico-químicas, as Terras Pretas de Índio têm propriedades de fertilidade que, em ambientes

tropicais úmidos, conferem a esses solos maior potencial de utilização agrícola. Segundo Cunha et al. (2009), as terras escuras antrópicas da bacia amazônica representam um importante modelo para o estudo de alternativas de manejo do solo e gestão da fertilidade, representando um modelo sustentável para regiões tropicais.

A partir dos estudos com a Terra Preta de Índios, uma nova linha de pesquisa surgiu em países como Japão, Estados Unidos, Reino Unido e alguns países da África, a qual envolve a produção, caracterização e avaliação do potencial de utilização de biocarvão para fins agronômicos, ambientais e econômicos. No entanto, ainda existem poucos estudos sobre o biocarvão no Brasil. Nesse aspecto, uma ampla variedade de resíduos e materiais orgânicos podem ser aproveitados e transformados termicamente em biocarvão (Figura 2.2), como restos de cultura (palha e sabugos de milho), palhas de arroz e algodão, folhas secas de coco, restos das colheitas florestais, chips de madeiras, serragem, resíduos da agroindústria (cascas de coco, laranja, arroz, algodão, caroços de manga, etc.), esterco diversos, resíduos orgânicos sólidos municipais e lodo de esgoto (ENDERS et al., 2012; LIU et al., 2014). Muitos resíduos orgânicos são produzidos no Estado de Sergipe e potencialmente podem ser utilizados para produção de biocarvão, como por exemplo, a casca de coco ou mesocarpo, considerado um resíduo, tanto para a indústria de processamento de coco seco como nas propriedades produtoras do fruto. Essa matéria prima geralmente fica depositada nas áreas de cultivo, formando grandes amontoados. Devido à sua lenta decomposição, muitos agricultores queimam esse resíduo para limpeza da área e realização das práticas culturais. Esse material também apresenta altos teores de tanino e lignina sendo observado por Maia (2013) um valor de 55g de lignina para 100 g de matéria prima fato esse que também aumenta o tempo de decomposição.

Porém, como toda biomassa tem as suas peculiaridades, e os processos de pirólise podem acontecer em temperaturas e tempos de residência diferentes, todo biocarvão é diferente um do outro (LEHMANN e JOSEPH, 2009). Essas diferenças entre os tipos de biocarvão possibilitam o seu uso para diferentes fins, assim, um biocarvão usado para fins agronômicos será diferente de um biocarvão usado para descontaminação de solo e de água. Um exemplo claro foi dado por Yao et al. (2012), que utilizando diferentes resíduos e diferentes temperaturas de pirólise, observaram que tanto a temperatura quanto o material de origem influenciaram na capacidade de retenção de nitrogênio e fósforo, tanto em solução nutritiva quanto em colunas de lixiviação.



**Figura 2.2.** Esquema de transformação de biomassa em biocarvão através da pirólise. Fonte: Hawaii Agriculture Notes: Biochar (2009).

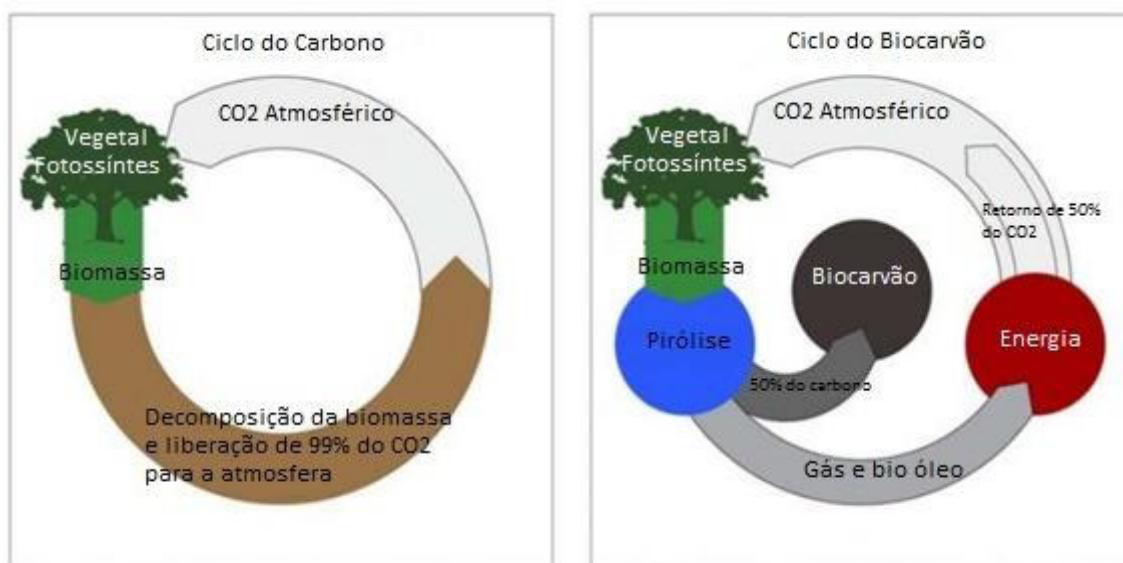
### 2.1.2- Importância do biocarvão na atualidade

A importância do biocarvão deve ser analisada de acordo como os seguintes aspectos:

1. Em muitas regiões, a degradação e as perdas de solo vem ocorrendo em taxas assustadoras, levando ao abandono de muitas áreas antes produtivas, pois deixam de responder ou tornam economicamente inviáveis para o uso agrícola, com consequentes impactos ambientais nos recursos hídricos (LAL, 1994). Na tentativa de aumentar a produtividade em áreas com diferentes níveis de degradação, os agricultores aplicam quantidades elevadas de fertilizantes e pesticidas, causando perdas de nutrientes e substâncias tóxicas por escoamento superficial e lixiviação. Nesse aspecto, o uso de biocarvão pode contribuir para a melhoria na estrutura do solo, maior retenção de água e nutrientes, mais eficiência no uso de fertilizantes e agrotóxicos, maior produtividade agrícola e redução da contaminação dos recursos hídricos (LEHMANN e JOSEPH, 2009). O efeito do biocarvão tem maior abrangência em áreas com baixa precipitação pluviométrica e em solos arenosos. Nesses solos, os benefícios do biocarvão se traduzem em redução nas taxas de aplicação de fertilizantes, pois o biocarvão oferece matriz para a retenção de nutrientes e permanece no solo por muitos anos ou décadas (ALLING et al., 2014).

2. As emissões de gases que provocam o efeito estufa vêm aumentando há anos e com tendência de continuar crescendo (USEPA, 2014). O solo contém 3,3 vezes mais C do que a atmosfera e 4,5 vezes mais C do que as plantas e animais (SULMAN et al, 2014). A maior parte do carbono do solo é perdido como CO<sub>2</sub> para a atmosfera quando os ecossistemas naturais são transformados em áreas agrícolas, o que torna o solo uma fonte potencial de CO<sub>2</sub> (Figura 2.3). Porém, o solo também pode ser um dreno de CO<sub>2</sub> se as práticas de manejo do solo forem adequadas. Nesse aspecto, a incorporação de biocarvão, cuja natureza recalcitrante e estável dificulta a sua decomposição, tem o potencial de mitigar milhares de anos de emissões através do sequestro de C no solo (LEHMANN e JOSEPH, 2009).
3. A disposição de resíduos provenientes das atividades humanas é um problema mundial. Portanto, a conversão desses resíduos em biocarvão para aplicação no solo não só tem o potencial de reduzir as emissões e consequentemente contribuir para a mitigação das mudanças climáticas, como também pode ser uma alternativa para o manejo de resíduos.

O biocarvão permite harmonizar a produção de energia e de alimentos com o aumento da fertilidade do solo e o sequestro de carbono. Essas características fazem dessa tecnologia uma das poucas hoje disponíveis com potencial para responder à convergência de questões com as quais o mundo se defronta nesse início de século: degradação dos solos, escassez de alimentos e fertilizantes, competição por biomassa e escalada das emissões de gases do efeito estufa (REZENDE et al., 2011). O aproveitamento do carbono através da transformação dos resíduos em biocarvão é maior e mais eficiente quando comparado ao balanço do ciclo do carbono em condições naturais no ambiente (Figura 2.3). Isso porque 50 % do carbono da biomassa inicial é transformada em biocarvão, que permanecerá no solo por um período muito maior. Em contrapartida, 99 % do carbono dos resíduos é emitida para a atmosfera se depositados naturalmente no solo.



**Figura 2.3.** O ciclo do carbono em condições naturais (à esquerda) e com a produção e aplicação de biocarvão ao solo (à direita). Fonte: Biochar Solutions inc. (2011).

### 2.1.3- Características do biocarvão

O biocarvão varia significativamente quanto as suas propriedades físicas e químicas devido as características do material de origem bem como a temperatura de pirólise, tendo comportamento distinto para cada (CRUZ, 2015). Um dos principais fatores que determinam as características do biocarvão é a temperatura. Elevadas temperaturas reduzem a quantidade de biocarvão produzido (eficiência), e resultam em biocarvão com elevada área superficial, grande capacidade de troca de cátions e elevada porosidade. Biocarvões produzidos a elevadas temperaturas possuem maior estabilidade e maior recalcitrância, sendo mais utilizados quando o objetivo é o armazenamento de C no solo ou o uso de biocarvão para retenção de elementos contaminantes, tanto no solo quanto em líquidos (BEESLEY et al., 2011; CHEN et al., 2011).

Alho (2012), em trabalho desenvolvido com duas espécies de pinus e duas espécies de eucalipto, verificou que o aumento na temperatura final de pirólise ocasionou uma redução na produção do biocarvão (eficiência) para todas as espécies estudadas. A maior temperatura final de pirólise também acarretou maiores teores de carbono fixo e menores teores de voláteis para todos os tratamentos. O rendimento em carbono estável variou pouco quando as temperaturas no final da pirólise ultrapassaram 400° C, não sendo observados ganhos expressivos em C estável por unidade de matéria-prima, ou seja, para fins de estoque de

carbono, não há necessidade de produzir biocarvão a temperaturas acima de 400°C para as condições estudadas por Alho (2012).

Maia et al. (2013), em trabalho desenvolvido com diversas matérias primas, observaram que temperaturas de 350°C e 450°C produziram um produto parcialmente carbonizado, mantendo alguns grupos funcionais. Esse biocarvão poderia apresentar melhores resultados como condicionante de solo. Os mesmos autores observaram grande variação na composição química (C, H, N, O, relação H/C, relação O/C e pH) em diversos biocarvões produzidos a partir de diferentes biomassas e temperatura de pirólise distintas.

Róz et al. (2015), estudando a possibilidade de produção de biocarvão em temperaturas que variam de 200 a 500 °C, observaram que com o aumento da temperatura, há uma redução no rendimento e aumento no teor de carbono fixo, sendo que o máximo rendimento versus o máximo teor de carbono fixo foi verificado quando a biomassa foi submetida a uma temperatura de pirólise de 300 °C.

## 2.2- Influência do biocarvão nas propriedades físicas do solo

Dentre as propriedades físico-hídricas do solo, a capacidade de retenção de água é uma das mais importantes do ponto de vista do aproveitamento eficiente da água na agricultura, principalmente em regiões onde a frequência de chuvas é baixa. A retenção de água é determinada pela distribuição e conectividade da rede porosa que compõe a estrutura do solo, que por sua vez é influenciada pelo tamanho das partículas (textura), pelo tamanho dos poros e pelo conteúdo em matéria orgânica (BRADY e WEIL, 2002). Portanto, a adição de resíduos que contribuam na agregação das partículas e na formação do sistema capilar pode potencialmente resultar em melhorias no sistema de armazenamento de água no solo. É o que tem sido observado após a aplicação de biocarvão ao solo (KARHU et al., 2011; NÓBREGA, 2011; KAMMANN, 2012; GONÇALVES et al., 2012).

O efeito do biocarvão no solo é mais expressivo em solos mais intemperizados e de textura muito arenosa (KARHU et al., 2011). Em solos arenosos tratados com biocarvão, (KAMMANN, 2012) observou considerável aumento na capacidade de retenção de água. Isso está relacionado com a elevada área superficial tanto externa quanto interna do biocarvão, e com a grande quantidade de microporos, o que aumenta a capilaridade. Para Nóbrega (2011), os mecanismos que levam o biocarvão a promover melhorias na retenção de água são relativamente simples, podendo ter efeitos diretos que consiste na retenção de água na própria

partícula do carvão e indiretos quando o biocarvão promove uma maior estruturação dos solos, podendo ser de curta ou longa duração.

Os benefícios do biocarvão no solo vão além do aumento na capacidade de absorção e retenção de água. A sua estrutura porosa e textura (quando aplicado na forma de pequenos pelets ou lascas) promove maior arejamento e melhor ambiente para desenvolvimento da biota do solo, estimulando a atividade biológica ao solo.

Brantley et al. (2013) verificaram que a taxa de aplicação afetou a relação entre o potencial hídrico e teor de água para biocarvão produzido a partir de cama de frango. Neste trabalho também foi observado que as diferentes matérias primas (chips de madeira e cama de frango) utilizadas na produção de biocarvão diferem quanto à retenção de água.

Abel et al. (2013) e Ulyett et al. (2014) verificaram um aumento na retenção de água em solos arenosos que foram tratados com biocarvão, sendo atribuído esses resultados à estrutura porosa do biocarvão. Madari et al. (2006), utilizando biocarvão de madeira de eucalipto, verificaram uma alta porosidade e elevada área de superfície específica, fato que pode contribuir com a retenção de água no solo, principalmente os de textura arenosa. Já Ouyang et al. (2013) observaram alteração nos macroagregados 90 dias após a aplicação do biocarvão no solo.

### 2.3- Influência do biocarvão nas propriedades químicas do solo

A presença de biocarvão no solo tem sido relacionada a melhorias na capacidade do solo em reter e liberar nutrientes para os vegetais, de forma gradual, o que contribui para diminuir perdas destes nutrientes por lixiviação (RESTREPO, 1994). Essa característica do biocarvão está associada à presença de grupos funcionais oxigenados, tais como hidroxilas e carboxilas ligadas às estruturas aromáticas, e responsáveis pela existência de sítios de troca (MANGRICH et al., 2011). Por essa razão, quando aplicado ao solo, o biocarvão aumenta a capacidade de troca de cátions (CTC) e reduz os riscos de contaminação das águas superficiais e subterrâneas, pois aumenta a retenção de elementos tóxicos presentes nos fertilizantes, herbicidas e pesticidas utilizados na agricultura (CAO et al., 2009).

#### 2.3.1- Nitrogênio em solos tratados com biocarvão

Nutrientes com alta mobilidade como o N, especialmente se o predomínio for de sua forma nítrica ( $\text{NO}_3^-$ ), atingem o volume de solo explorado pelas raízes rapidamente, porém, se

perdem facilmente por lixiviação (AULAKH et al., 2000), causando contaminação das águas por compostos nitrogenados, um problema de espectro mundial devido à sua ampla e diversificada procedência (ALABURDA e NISHIHARA, 1998).

Do ponto de vista eletroquímico, existe uma grande diferença entre a adsorção de nitrato ao solo e a de outros oxiânions, pois ele não é adsorvido especificamente, sendo sua adsorção apenas eletrostática, dependente exclusivamente da carga do solo (referência). Existem solos nos quais as cargas positivas ocorrem em quantidades apreciáveis em condições naturais de pH e de maneira significativa nos horizontes subsuperficiais (ALCANTARA e CAMARGO, 2005). Já o N na forma de  $\text{NH}_4^+$  tem a lixiviação reduzida pela adsorção deste cátion no complexo de cargas negativas do solo (SPARKS, 1995). A lixiviação do N ocorre em ordem decrescente para  $\text{NO}_3^- > \text{NH}_4^+ > \text{N orgânico}$ .

Muitos estudos vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de investigar a capacidade do biocarvão atuar no ciclo do N. Alguns deles têm reportado que a adição de biocarvão pode aumentar a taxa de nitrificação, estimular a imobilização de N, reduzir as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$ , reduzir a volatilização de  $\text{NH}_3$ , aumentar a quantidade de bactérias que oxidam o amônio e alterar a disponibilidade de N para as culturas (SPOKAS et al., 2010; BALL et al., 2010; KNOWLES et al., 2011). Yao et al. (2012) observaram que o biocarvão produzido utilizando como matéria prima a pimenta rosa e o bambu a uma temperatura de  $600^\circ \text{C}$  reduziu a concentração de nitrato e amônio na solução do solo em experimento com colunas de lixiviação. Lehmann et al. (2003) observaram que o biocarvão produzido a partir de resíduos de floresta secundária reduziu significativamente a lixiviação de fertilizantes nitrogenados e contribuiu com maior crescimento das plantas e melhor nutrição. Ding et al. (2010) também verificaram que o biocarvão produzido a partir de bambu retardou o movimento vertical de amônio em camadas mais profundas do solo e observaram uma redução cumulativa de 15,2 % nas perdas de  $\text{NH}_4^+$  por lixiviação quando aplicaram a dose de 0,50% de biocarvão na camada superficial do solo. Knowles et al. (2011) também observaram efeitos semelhantes com relação à lixiviação de  $\text{NO}_3^-$  em solos tratados com biocarvão produzido a partir de biosólidos.

Porém, os mecanismos que norteiam a resposta do N às adições de biocarvão ainda não são bem entendidas. O que se sabe até agora é que a presença de biocarvão interfere com o comportamento de N no solo, pois pode causar a retenção do elemento e retardar a sua lixiviação (KNOWLES et al., 2011).

### 2.3.2- Fósforo e potássio em solos tratados com biocarvão



O fósforo está entre os elementos essenciais para o desenvolvimento das plantas e faz parte da composição de compostos responsáveis pelo transporte de energia (NYLE, 2001). A forma inorgânica, disponível para absorção pelas raízes das plantas e pelas hifas de micorrizas, se apresenta nas formas dos íons ortofosfato  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{HPO}_4^{2-}$ , dependendo do pH. O cultivo das plantas é indicado na faixa de pH de 5,0 a 6,5, onde predomina o íon monovalente  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  (HALVIN et al., 2005).

A agricultura realizada nas encostas das bacias rurais é a principal fonte fornecedora de fósforo para os corpos hídricos. A forma dissolvida do elemento é a que apresenta maiores riscos, pois pode percorrer distâncias maiores quando comparado ao fósforo reativo nos sedimentos em suspensão, que podem acabar depositados ao longo do caminho (GEBLER et al., 2012).

Da mesma forma que para o N, Yao et al. (2012) verificaram que o biocarvão de pimenta rosa reduziu a concentração de fósforo no lixiviado. Comparado a outros solos orgânicos, o biocarvão também é capaz de adsorver fortemente fosfato, embora ele seja um ânion, contribuindo para a redução da poluição dos corpos d'água, pois quando aplicado ao solo pode aumentar a retenção de nutrientes e contribuir para a redução nas taxas de aplicação de fertilizantes. Porém, este mecanismo ainda não está completamente esclarecido (LEHMANN, 2007), principalmente porque alguns resultados são controversos. Por exemplo, Morales (2010), utilizando como matéria prima biomassa de capim elefante, serragem (vários tipos de madeiras) e palha de cana-de-açúcar, observou que a adição de biocarvão ao solo promoveu a dessorção de P, até diminuindo a capacidade de sorção de P no solo; Esse comportamento foi sugerido pelos autores como decorrente da grande concentração de P ( $1484 \text{ mg kg}^{-1}$ ) presente no biocarvão.

Já Silva e Lyra (2011), observaram que a concentração de fósforo no lixiviado de vasos cultivados com cana de açúcar diferiram estatisticamente entre os solos tratados com biocarvão e o controle sem bicarvão, sendo observado uma maior concentração de fósforo no lixiviado do solos que receberam as maiores doses.

Al-Wabel et al. (2015), em experimento de incubação durante 90 dias utilizando diferentes misturas de resíduo de conocarpus (*Conocarpus erectus* L), biocarvão de conocarpus e esterco de aves, verificaram aumento não só na disponibilidade de P, mas também na disponibilidade de K em um solo arenoso.

#### 2.4- Crescimento e produtividade de culturas em solos tratados com biocarvão

Além da melhoria na saúde do solo, a aplicação de biocarvão tem resultado em aumentos na produtividade de algumas culturas. Resposta positiva foi observada na produtividade de milho após tratamento do solo com biocarvão obtido a partir de chips de madeira e esterco suíno (JEFFERY et al. 2011). Em alguns estudos, aumentos de até 140% foram observados para a produtividade do milho (MAJOR et al., 2010) e 100% para o feijão (GLASER et al., 2002). Jefferey et al. (2011) observaram aumentos de 10% em média na produtividade de culturas agronômicas após adição de biocarvão no solo em dose de 10, 25, 50 e 100 t ha<sup>-1</sup>. Liu et al. (2013) fizeram uma extensa revisão em artigos publicados em vários países e encontraram resultados animadores. Por exemplo, observaram aumentos de 11%, em média, na produtividade de culturas agrícolas tratadas com biocarvão, especificamente 30% em leguminosas, 29% em vegetais folhosos e 14% em gramíneas. Reportaram também que os melhores resultados foram obtidos em doses de biocarvão inferiores a 30 t ha<sup>-1</sup>.

Lima (2014) verificou um melhor desempenho agronômico e uma maior produtividade da cultura da soja em solos tratados com biocarvão, porém esse efeito foi reduzido quando observado a longo prazo. Petter et al. (2012), utilizando biocarvão de eucalipto, verificaram no primeiro ano de cultivo após a aplicação, um efeito positivo tanto no desenvolvimento quanto na produtividade da cultura do arroz de terras altas. Marimon Júnior et al. (2012) verificaram que quando mistura-se biocarvão a outros resíduos, como esterco suíno, bovino e pó-de-serra, há um aumento da biomassa de mudas. Porém, Morales (2010) chama a atenção para algumas possíveis limitações no desenvolvimento de culturas após tratamento com biocarvão em função de características como pH, muitas vezes muito elevado, e concentrações de sais. Parece existir um limite máximo para a aplicação de biocarvão no solo em relação à produtividade das culturas. Lehmann et al. (2006) observaram resposta positiva para a aplicação de biocarvão no solo apenas até 55 t ha<sup>-1</sup>, doses maiores causaram reduções na produtividade.

Outros autores (BIEDERMAN e HARPOLE (2013), KAMMANN et al. (2011), ASAI et al. (2009)) observaram reduções na produtividade vegetal em solos tratados com doses elevadas de biocarvão, porém as causas ainda são desconhecidas.

Já Biederman e Harpole et al. (2013), em estudo avaliando dados de produtividade em diversos trabalhos com biocarvão, observaram que espécies perenes (incluindo gramíneas, plantas forrageiras, e cana-de-açúcar) não tinha resposta quanto a aplicação do biocarvão. Graber et al. (2010), também verificou que não houve efeito significativo na produtividade de tomate em solos tratados com biocarvão de madeira pobre em nutrientes.

Por isso, os estudos com biocarvão são necessários para o esclarecimento de muitas questões a respeito de seus benefícios e desvantagens, principalmente a questão da quantidade a ser aplicada.

## 2.5- Biocarvão e o sequestro de C no solo

A utilização de biocarvão como estratégia para armazenar carbono no solo, aumentando os níveis de matéria orgânica e reduzindo as emissões atmosféricas, foi um dos primeiros aspectos a serem considerados para a inclusão desse material no manejo dos solos. Isso porque a conversão da biomassa em biocarvão, seguida da aplicação do biocarvão no solo, aumenta o tempo de residência de C no solo, comparativamente à aplicação da mesma biomassa não carbonizada diretamente no solo, o que pode resultar em uma retirada líquida de CO<sub>2</sub> atmosférico, dentro de determinada escala de tempo (LEHMANN, 2007). Segundo Petter e Madari (2012), o biocarvão, dado à sua estrutura aromática, é uma forma de carbono relativamente estável no solo, que pode contribuir para a redução da emissão de gases de efeito estufa. Para Mangrich et al. (2011), o mecanismo que confere ao biocarvão capacidade de atuar no sequestro de carbono nos solos é a sua alta estabilidade química, apresentando uma estrutura interna estável, semelhante ao grafite, e uma estrutura periférica reativa, devido à presença de diferentes grupos químicos capazes de se ligar a diversas substâncias como: água, nutrientes e substâncias orgânicas.

Em estudo desenvolvido por LIMA (2014), o biochar não só aumentou os teores e estoques totais de carbono orgânico no solo em longo prazo, como também alterou a dinâmica do carbono nas frações da matéria orgânica do solo, proporcionando aumento dos teores na fração humina e maior estabilidade da matéria orgânica em longo prazo.

## 2.6- REFERÊNCIAS

ABEL, S.; PETERS, A.; TRINKS, S.; SCHONSKY, H.; FACKLAM, M.; WESSOLEK, G. Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. **Geoderma**, v.202, p.183-191, 2013.

ALABURDA, J; NISHIHARA, L, Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. **Revista de Saúde Pública**, v. 32, n. 2, p. 160 -165, 1998.

ALCANTARA, M. A. K.; CAMARGO, O. A. Adsorção de nitrato em solos com cargas variáveis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 4, p. 369-376. 2005.

ALHO, C. F. B. V. **Efeito da temperatura final de pirólise na estabilidade de biocarvão produzido a partir de madeira de Pinus sp E Eucalyptus SP.** 2012. 58 p. Dissertação (Mestrado). Instituto de Florestas Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ. 2012.

ALLING, V.; HALE, S.E.; MARTINSEN, V.; MULDER, J. SMEBYE, A.; REEDVELD, G.D.; CORNELISSEN, G. The role of biochar in retaining nutrients in amended tropical soils. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 177, p. 671–680, 2014.

AL-WABEL, M. I.; USMAN, A.R.A.; EL-NAGGAR, A.H.; ALY, A.A.; IBRAHIM, H.M.; ELMAGHRABY, S.; AL-OMRAN, A. Conocarpus biochar as a soil amendment for reducing heavy metal availability and uptake by maize plants. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v.22, p.503–511, 2015.

AULAKH, M.S.; KHERA, T.S.; DORAN, J.W.; SINGH, K.; SINGH, B. Yields and nitrogen dynamics in a rice-wheat system using green manure and inorganic fertilizer. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, p.1867-1876, 2000.

ASAI, H.; SAMSON, B.K.; STEPHAN, H.M.; SONGYIKHANGSUTHOR, K.; HOMMA, K.; KIYONO, Y.; INOUE, Y.; SHIRAIWA, T.; HORIE, T. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. **Field Crops Research**, v.111, p.81-84, 2009.

BALL, P.N.; MACKENZIE, M.D.; DELUCA, T.H.; HOLBEN, W.E. Wildfire and charcoal enhance nitrification and ammonium-oxidizing bacterial abundance in dry ontane forest soils. **Journal of Environmental Quality**, v. 39(4), p. 1243-1253, 2010.

BAUMANN, B.B. The botanical aspects of ancient Egyptian embalming and burial. **Economic Botany**, v.14, p.84–104. 1960.

BEESELEY, L.; MARMIROLI, M. The immobilisation and retention of soluble arsenic, cadmium and zinc by biochar. **Environmental Pollution**, v.159, p.474-480, 2011.

**Biochar Solutions.** Disponível em: <<http://www.biocharsolutions.com/overview.html>>. Acesso em: 20 de fevereiro 2016.

BRADY, N. C.; WEIL, R.R. **The Nature and Properties of Soils.** Prentice Hall, p.960, 2002.

BRANTLEY, K.E., BRYE, K.R., SAVIN, M.C. AND LONGER, D.E. Biochar Source and Application Rate Effects on Soil Water Retention Determined Using Wetting Curves. **Open Journal of Soil Science**, v.5, p. 1-10, 2013.

BIEDERMAN, L.A.; HARPOLE, W.S. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: A meta-analysis. **GCB Bioenergy**, v.5, p.202–214, 2013.

CAO, X.D.; MA, L.; GAO, B.; HARRIS, W. Dairy-manure derived biochar effectively sorbs lead and atrazine. **Environmental Science e Technology**, v.43, p. 3285–3291, 2009.

CHEN, X.; CHEN, G.; CHEN, L.; CHE, Y.; LEHMANN, J. MCBRIDE, M.B.; HAY, A.G. Adsorption of copper and zinc by biochar produced from pyrolysis of hardwood and corn straw in aqueous solution. **Bioresource Technology**, v.102, p.8877-8884, 2011.

CRUZ, R.F. **Caracterização de matérias-primas e biochars para aplicação na agricultura**. 2015. 133p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP. 2015.

CUNHA, T. J.F.; MARADI, B. E.; CANELLAS, L.P.; RIBEIRO, L.P.; BENITES, V. M.; SANTOS, G. A. Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (Terra Preta de Índio) in the Brazilian amazon basin. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 33, p.85-93, 2009.

DING, Y.; LIU, Y.-X.; WU, W.-X.; SHI, D.-Z.; YANG, M.; ZHONG, Z.-K. Evaluation of Biochar Effects on Nitrogen Retention and Leaching in Multi-Layered Soil Columns. **Water Air Soil Pollut**, v.213, p.47–55, 2010.

ENDERS, A.; HANLEY, K.; WHITMAN, T.; JOSEPH, S.; LEHMANN, J. Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. **Bioresour Technol**. v.114, p.644–653, 2012.

GEBLER, L; BERTOL, I; RAMOS, R.R; LOUZADA. J.A.S; MIQUELLUT, D.J. Fósforo reativo: Arraste superficial sob chuvas simuladas para diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.1, p.99–107, 2012.

GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal-A review. **Biology and Fertility of Soils**, v.35, p.219-230, 2002.

GRABER E.R.; MELLER-HAREL Y.; KOLTON M.; CYTRYN, E.; SILBER, A.; DAVID, D.R.; TSECHANSKY, L.; BORENSHTEIN, M.; ELAD, Y. Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. **Plant and Soil**, v.337, p.481-496, 2010.

GONÇALVES, L. G. V.; MORAIS, L. A.; CARVALHO, M. T. M.; SILVA, M. A. S.; MADARI, B. E. **Dinâmica da água e resposta fisiológica de Oryza sativa pelo biocarvão do solo**. In: SEMINÁRIO JOVENS TALENTOS, 6., 2012, Santo Antônio de Goiás. Resumos apresentados. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2012. p.34.

GUIMARÃES, D.V., GONZAGA, M.I.S., SILVA, T.O., SILVA, T.L., DIAS, N.S., MATIAS, M.I.S. Soil organic matter pools and carbon fractions in soil under different land uses, **Soil and Tillage Research**, v.126, 177-182. 2013.

HALVIN, J., BEATON, J.D., TISDALE, S.L., NELSON, W.L. **Soil Fertility and Fertilizers**. New Jersey: Pearson Education, Inc., 2005.

Hawaii Agriculture Notes: Biochar. Disponível em:  
[http://ahualoa.net/ag/notes\\_biochar.html](http://ahualoa.net/ag/notes_biochar.html). Acesso em: 20 de fevereiro 2016.

JEFFERY, S., F.G.A. VERHEIJEN, M. VAN DER VELDE, A.C. BASTOS. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using met-analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.144, p.175-187, 2011.

KAMMANN, C.I.; LINSEL, S.; GÖBLING, J.W.; KOYRO, H.W. Influence of biochar on drought tolerance of *Chenopodium quinoa* Willd and on soil-plant relations. **Plant Soil**, v.345, p.195–210, 2011.

KAMMANN, C. Chancen und Risiken des Einsatzes von Pflanzenkohle. Biokohle in Böden. **Müll und Abfall**, p. 256-263, 2012.

KARHU, K.; MATTILA, T.; BERGSTRÖM, I.; REGINA, K. Biochar addition to agricultural soil increased CH<sub>4</sub> uptake and water holding capacity – Results from a shortterm pilot field study. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 140, p. 309- 313, 2011.

KNOWLES, O.A.O.; ROBINSON, B.H.B.; CONTANGELO, A.A.; CLUCAS, L.L. Biochar for the mitigation of nitrate leaching from soil amended with biosolids. **Science of the Total Environment**, v.409, p. 3206-3210, 2011.

LAL, R. Tillage effects on soil degradation, soil resilience, soil quality, and sustainability. **Soil and Tillage Research**, v.27, p. 1–8, 1994.

LEHMANN J, SILVA JUNIOR, J.P.; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.; GLASER B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil**, v.249, p.343–357, 2003.

LEHMANN, J.; GAUNT, J.; RONDON, M. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems - A review. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v.11, p.403–427, 2006.

LEHMANN, J.; RONDON, M.; RAMÍREZ, J.; HURTADO, M., Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. **Biol Fertil Soils**. v. 43, p. 699-708, 2007.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for Environmental Management: An Introduction. science and technology. . In: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), **Biochar for Environmental Management: Science and Technology**. London: Earthscan, 2009. p. 1-12

LIMA, L. B. **Desempenho agrônômico da soja, fertilidade e dinâmica da matéria orgânica em solo sob aplicação de biochar no cerrado brasileiro**. 2014. 78 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Goiás. 2014.

LIU, X.; ZHANG, A.; JI, C.; JOSEPH, S.; BIAN, R.; LI, L.; PAN, G.; Paz-Ferreiro, J. Biochar's effect on crop productivity and the dependence on experimental conditions-A meta-analysis of literature data. **Plant and Soil**, v. 373, p. 583-594, 2013.

LIU, T.; LIU, B.; ZHANG, W. Nutrients and heavy metals in biochar produced by sewage sludge pyrolysis: its application in soil amendment. **Polish Journal of Environmental Studies**, v.23, n.1, p.271-275, 2014.

MADARI, B.E.; COSTA, A.R.; CASTRO, L.M.; SANTOS, J.L.S.; BENITES, V. DE M.; ROCHA, A.O.; MACHADO, P.L.O.A. **Carvão Vegetal como condicionador de solo para Arroz de Terras Altas (Cultivar Primavera): um estudo prospectivo**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, Comunicado Técnico 125, 2006, p.6.

MADARI, B. E.; CUNHA, T. J. F.; NOVOTNY, E. H.; MILORI, D. M. B. P.; MARTIN NETO, L.; BENITES, V. M.; COELHO, M. R.; SANTOS, G. A. Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (terra preta de índio): suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. (Ed.). **As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. p.172-188.

MAIA, C.M.B.F; Finos de carvão: fonte de carbono estável e condicionador de solos. **Embrapa Florestas**, Colombo-PR, 1ª edição, 36p, 2010.

MAIA, C.M.B.F.; HANSEL, F. A.; ALHO, C. F. B. **Produção de biocarvões por pirólise lenta: potencial agrícola e ambiental**. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 10., 2013, Santo Antônio de Goiás. Matéria orgânica e qualidade ambiental: anais. Brasília, DF: Embrapa, 2013.

MAJOR, J.; RONDON, M.; MOLINA, D.; RIHA, S.J.; LEHMANN, J. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. **Plant Soil**, v.333, p.117–128, 2010.

MANGRICH, A. S; MAIA, C. M. B. F; NOVOTNY, E. H. Biocarvão - As terras pretas de índios e o sequestro de carbono. **Ciência Hoje**, v. 47, p. 48–52. 2011.

MARIMON JÚNIOR, B.H.; PETTER, F.A.; ANDRADE, F.R.; MADARI, B.E.; MARIMON, B.S.; SCHOSSLER, T.R.; GONÇALVES, L.G.; BELÉM, R., Produção de mudas de jiló em substrato condicionado com Biochar. **Comunicata Scientiae**, v.3, p. 108-114, 2012.

MORALES, M. M. **Efeito do biocarvão sobre o comportamento da matéria orgânica e do fósforo em solo degradado**. 2010. 88 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP. Campus de Botucatu-SP. 2010.

MOREIRA, A. Fertilidade, Matéria Orgânica e Substâncias Húmicas em Solos Antropogênicos da Amazônia Ocidental. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.2, p.307-315, 2007.

NÓBREGA, Í. P. C. **Efeitos do Biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: Sequestro de carbono no solo**. 2011. 46 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Instituto de Agronomia, Universidade Técnica do Lisboa, Lisboa. 2011.

NYLE, C. B. **The nature and properties of soils**. 13th ed. New Jersey: Pearson. 2001, 960 p.

- OUYANG,L.; WANG,F.; TANG,J.; YU,L.; ZHANG, R. Effects of biochar amendment on soil aggregates and hydraulic properties. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.13 p.991-1002, 2013.
- PETTER, F. A.; MADARI, B. E.; SILVA, M. A. S.; CARNEIRO, M. A. C.; CARVALHO, M. T. M.; MARIMON JÚNIOR, B. H.; PACHECO, L. P. Soil fertility and upland rice yield after biochar application in the Cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.47, n.5, p.699-706, 2012.
- PETTER, F.A.; MADARI, B. E. Biochar: Agronomic and environmental potential in Brazilian savannah soils. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.7, p.761–768, 2012.
- RESTREPO R.J. **La idea y el Arte de fabricar los abonos orgánicos fermentados: aportes y recomendaciones ; una experiencia de agricultores en Centroamérica y Brasil**. Cali: SIMAS, 1998.
- REZENDE E. I. P; ANGELO L. C; SANTOS S. S; MANGRICH A. S. Biocarvão (Biochar) e Sequestro de Carbono. **Revista Virtual Química**, Curitiba-PR ,v. 3, n. 5, p.426-433, 2011.
- RÓZ, A.L.; Ricardo, J.F. C.; Nakashima, G.T.; Santos, L.R.O.; Yamaji, F. M. Maximização do teor de carbono fixo em biocarvão aplicado ao sequestro de carbono. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.8, p.810–814, 2015.
- SILVA, V.M.; LYRA, M.R.C.C. **Avaliação do Impacto na Qualidade da Água de Lixiviado de Cana-de-Açúcar Cultivada em Solo com Incorporação de Biocarvão**. VI Congresso de Iniciação Científica do IFPE, Recife-PE, 2011. p.6.
- SOMBROEK, W.; RUIVO, M.L.; FEARNSIDE, P.M. Amazonian dark earths as carbon stores and sinks. In: LEHMANN, J.; VCKERN, D. C.; GLASER, B.; WOODS; W. I. (Eds.). **Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management, part 2**, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 2003. p. 125-139.
- SPARKS, D.L. **Environmental soil chemistry**. San Diego: Academic Press, 1995. 267p.
- SPOKAS, K.A. Review of the stability of biochar in soils: predictability of O:C molar ratios. **Carbon Management**, v. 1, p. 289-303, 2010.
- SULMAN, B. N.; PHILLIPS, R. P.; OISHI, A. C.; SHEVLIAKOVA, E.; PACALA. S. W. Microbe-driven turnover offsets mineral-mediated storage of soil carbon under elevated CO<sub>2</sub>. **Nature Climate Change**, v.4, p.1099–1102, 2014.
- ULYETT, J.; SAKRABANI, R.; KIBBLEWHITE, M.; HANN, M. Impact of biochar addition on water retention, nitrification and carbon dioxide evolution from two sandy loam soils. **European Journal Of Soil Science**, v.65, p.96-104, 2014.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2009). **World Population Prospects: The 2008 Revision, Highlights**, Working Paper No. ESA/P/WP.210.



USEPA, Overview of Greenhouse Gases. Disponível em:  
<<http://www.epa.gov/climatechange/ghgemissions/gases/co2.html>>. Acesso em: 23/02/2015.

WOODS, W. I.; GLASER, B. Towards an Understanding of Amazonian Dark Earths. In: WOODS, W. I.; GLASER, B. (Eds). **Amazonian Dark Earths: Explorations in Space and Time**, Berlin: Springer-Verlag. 2004. p.1-8.

YAO, Y.; GAO, B.; ZHANG, M.; INYANG, M.; ZIMMERMAN, A.R. Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil. **Elsevier:Chemosphere 89**. p. 1467–1471, 2012.

### **3-INFLUÊNCIA DO BIOCARVÃO DE CASCA DE COCO EM ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO E NO SEQUESTRO DE CARBONO**

#### **RESUMO**

Os benefícios do uso do biocarvão vão além da melhoria na qualidade física, química e biológica do solo, alcançam também aspectos ambientais de relevada importância regional e mundial, como o sequestro de carbono no solo e a destinação eficiente dos resíduos orgânicos sólidos. O presente trabalho avaliou o efeito do biocarvão de casca de coco no comportamento dos atributos físicos e químicos de um Argissolo Vermelho Amarelo e quantificou o sequestro de carbono. O experimento foi desenvolvido em condições protegidas na Universidade Federal de Sergipe, campus de São Cristóvão-SE, as coordenadas geográficas de localização são: 10° 55' 46" de latitude sul e 37° 06' 13" de longitude oeste, durante os meses de julho e outubro de 2015. O solo utilizado no estudo foi a camada superficial de um Argissolo Vermelho Amarelo. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com 6 tratamentos (doses de biocarvão aplicadas: 0; 2,5; 5; 10, 20 e 30t ha<sup>-1</sup>) e 5 repetições. Aos 7 e 78 dias após a incorporação do biocarvão, foram avaliados no solo os atributos químicos: pH, CE, P disponível e concentrações de trocáveis de K, Na, Al, Ca, Mg e porcentagem C, sendo na profundidade de 0-20 cm para as amostras coletadas 7 dias após incubação e na profundidade de 0-20 e 20-40 cm para as amostras coletadas aos 78 dias, para os atributos físicos: capacidade de campo, ponto de murcha permanente, disponibilidade total de água, densidade do solo, macro e microporosidade do solo, foram realizadas apenas aos 78 dias após. O armazenamento de carbono no solo no final do experimento foi calculado de acordo com a porcentagem de carbono, densidade do solo e profundidade de 20 cm da coleta do solo. A adição do biocarvão reduziu a densidade do solo e aumentou a microporosidade, e como consequência, melhorou a retenção de água no solo em aproximadamente 64% na maior dose aplicada. A presença do biocarvão reduziu a acidez do solo e a disponibilidade de Al, aumentou a condutividade elétrica e a concentração de Na trocável tanto no início quanto no final do experimento. Não houve influência do biocarvão nas concentrações trocáveis de Ca e Mg, mas as concentrações de P e de K responderam positivamente ao aumento das doses de biocarvão no início do ensaio, quando nenhum fertilizante químico tinha sido adicionado ao solo, também observou-se resposta positiva quanto as concentrações de K no final do experimento. Observou-se aumentos de 31% para P e 700% para K na maior dose de biocarvão 7 dias após a sua incorporação, que junto com o aumento nas concentrações de Na provavelmente contribuiu para o aumento da condutividade elétrica do solo, também observou-se aumento nos estoques de carbono no solo no final do experimento. Embora tenha sido observado benefício do biocarvão na qualidade física e química do solo, sua aplicação deve ser bem assistida em função de mudanças excessivas na reação e na salinidade do solo.

Palavras chave: carbono pirogênico; qualidade do solo; salinidade; disponibilidade de nutrientes.

**INFLUENCE OF COCONUT HUSK BIOCHAR ON SOIL PHYSICAL AND CHEMICAL ATTRIBUTES AND IN SOIL CARBON SEQUESTRATION**

#### **ABSTRACT**

The benefits of adding biochar onto soil go beyond improving the physical, chemical and biological soil properties, they also involve important environmental aspects both in regional and global scales, such as carbon sequestration and disposal of solid organic waste. This study evaluated the effect of coconut shell biochar in some physical and chemical attributes of a Yellow Red Ultisol and in the soil carbon sequestration. The experiment was carried out under greenhouse conditions at the Federal University of Sergipe, campus of São Cristóvão, SE, between July and October 2015. The soil used in the study was the surface layer of a Yellow Red Ultisol. The experimental design was randomized blocks, with six treatments (biochar doses: 0, 2.5, 5, 10, 20 and 30t ha<sup>-1</sup>) and 5 replicates. Seventy-eight days after biochar incorporation into the soil, soil samples were collected from each experimental unit for the determination of the physical attributes: field capacity, permanent wilting point, total water availability, soil bulk density, macro and micro porosity of the soil; and chemicals: available P and exchangeable concentrations of K, Na, Al, Ca and Mg. The total organic carbon was determined in soil samples collected at 7 and 78 days after the application of biochar. Soil carbon storage was calculated based on the bulk density and depth of the soil sampling. Addition of biochar to the soil reduced the soil bulk density and increased soil microporosity, causing an improvement of about 64% on the water retention in the soil at the highest biochar dose. In addition, biochar reduced soil acidity and the availability of Al, but increased the electrical conductivity and the concentration of exchangeable Na. There was no influence of biochar on the concentration of exchangeable Ca and Mg. However, the concentrations of P and K increased with the increasing rate of biochar application 7 days after biochar incorporation, when no chemical fertilizer had been added to the soil. The concentration of P and K increased 31% and 700% , respectively, in the highest dose of biochar seven days after its incorporation, which probably contributed to the increase in the electrical conductivity of the soil. Although biochar had positive effects on soil quality, its application should be monitored since the material can cause excessive increase in soil pH and soil salinity.

Key words: pyrogenic carbon; soil quality; salinity; nutrient availability

### 3.1-INTRODUÇÃO

A degradação e as perdas de solo vêm ocorrendo em taxas assustadoras em várias regiões, levando ao abandono de muitas áreas antes produtivas, pois deixam de responder ou tornam economicamente inviáveis para o uso agrícola, com consequentes impactos ambientais nos recursos hídricos (LAL, 1994). Neste contexto, o biocarvão tem sido cogitado como uma alternativa para mitigar esses impactos, pois pode contribuir para a melhoria na qualidade do solo (LEHMANN e JOSEPH, 2009). O uso do biocarvão na agricultura só foi cogitado após a descoberta das terras pretas de índio, na Amazônia (SOMBROEK et al., 2003), áreas que têm sido usadas por mais de 2 mil anos (KAMMANN, 2012) e são conhecidas por possuírem alto teor de matéria orgânica (MO) e nutrientes, como nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e cálcio (Ca), quando comparados a solos não antrópicos presentes na região (CUNHA et al.,

2009). Análises desse material acusaram a presença de carbono pirogênico, o mesmo encontrado no biocarvão.

O biocarvão, por possuir grupos funcionais oxigenados, tais como hidroxilas e carboxilas ligadas às estruturas aromáticas, quando aplicado ao solo aumenta a capacidade de troca de cátion (CTC) (RESTREPO, 1994). Sua presença no solo também tem sido relacionada a melhorias na eficiência do uso da água, redução das perdas de nutrientes por lixiviação (MANGRICH et al. (2011), e consequente redução dos riscos de contaminação dos corpos hídricos (CAO et al., 2009). Carvalho et al. (2010) observaram que o uso de biocarvão aumentou a retenção de água em solos de diferentes texturas, o que foi atribuído à estrutura porosa do biocarvão. Aumento na retenção de água no solo tratado com biocarvão também foi verificada por GLASER et al. (2002). Abel et al. (2013) não só verificaram aumento na retenção de água no solo, como também redução na densidade do solo e aumento do volume total de poros. Já Brantley et al. (2013), observaram que as diferentes matérias primas, tais como chips de madeira e cama de frango, utilizadas na produção de biocarvão, afetaram de forma diferente a relação entre o potencial hídrico e teor de água no solo, mostrando a importância das investigações com os diferentes tipos de biocarvão.

As atividades humanas também promovem as emissões de gases que provocam o efeito estufa, com consequências drásticas sobre a vida do planeta (USEPA, 2014). Utilizar o solo como sumidouro de carbono também pode ser alternativa interessante para o manejo do biocarvão, pois, de acordo com Sulman et al. (2014), o solo já contém 3,3 vezes mais C do que a atmosfera e 4,5 vezes mais C do que as plantas e animais, embora em formas facilmente decomponíveis. A maior parte do carbono do solo é perdido como CO<sub>2</sub> para a atmosfera quando os ecossistemas naturais são transformados em áreas agrícolas, o que torna o solo uma fonte potencial de CO<sub>2</sub>, porém pode ser um dreno de CO<sub>2</sub> se as práticas de manejo forem adequadas. Nesse aspecto, a incorporação de biocarvão, cuja natureza recalcitrante e estável dificulta a sua decomposição, possibilita mitigar milhares de anos de emissões através do sequestro de C no solo (LEHMANN e JOSEPH, 2009).

Assim, o presente trabalho objetivou avaliar o efeito de diferentes doses do biocarvão de casca de coco no comportamento dos atributos físicos e químicos do solo e no armazenamento de carbono.

### **3.2-MATERIAIS E MÉTODOS**

### 3.2.1. Coleta e caracterização do solo

O experimento foi desenvolvido na Universidade Federal de Sergipe, localizada no município de São Cristóvão-SE, em estufa agrícola com circulação de ar e controle de temperatura, sendo o sistema de resfriamento acionado quando a temperatura interna da estufa atingia 28° C. As coordenadas geográficas de localização são: 10° 55' 46" de latitude sul e 37° 06' 13" de longitude oeste.

O solo utilizado no estudo foi um Argissolo Vermelho Amarelo segundo Atlas Digital sobre Recursos Hídricos do Estado de Sergipe (2013), coletado no campo experimental da Universidade Federal de Sergipe, área inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Poxim, localizada no município de São Cristóvão-SE. A coleta foi realizada na camada de 0-20 cm. O solo foi seco ao ar, destorroado e peneirado em peneira de 2 mm. Amostras desse material foram submetidas às análises físicas (densidade e composição granulométrica) e químicas (matéria orgânica (M.O.), pH, condutividade elétrica (CE), capacidade de troca de cátions efetiva (CTC<sub>efetiva</sub>), concentrações de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) alumínio (Al) e sódio (Na)), seguindo metodologia proposta por Silva (2009), (Tabela 3.1).

**Tabela 3.1:** Atributos físicos e químicos do horizonte superficial do Argissolo Vermelho Amarelo utilizado no estudo. São Cristóvão, SE.

Elementos	Unidade	Resultado
pH	--	4,64
CE	mS cm <sup>-1</sup> à 25° C	0,63
M.O.	g dm <sup>-3</sup>	11,06
C		6,36
P Melhich	mg dm <sup>-3</sup>	1,82
K		25,40
Al	cmol dm <sup>-3</sup>	0,45
K		0,06
Ca		0,72
Mg		0,65
SB		1,43
CTC <sub>efetiva</sub>		1,88
V <sub>efetiva</sub>	%	76,13
Densidade	g cm <sup>-3</sup>	1,39
Areia		71,57
Silte	%	13,43
Argila		15,00
Classificação textural	--	Areia Franca

### 3.2.2. Coleta do resíduo, produção e caracterização do biocarvão

O biocarvão (Figura 3.2 A) foi produzido em um forno artesanal adaptado utilizando um modelo desenvolvido pela IBI (Iniciativa Internacional de Biocarvão), o TLUD (Top Lid Updraft) (Figura 3.1), o qual utiliza duas chaminé como segunda fase de queima para eliminar os subprodutos voláteis produzidos pela pirólise. Durante o processo, tantos os vapores como os gases não condensáveis são queimados para fornecer energia e dar continuidade ao processo de pirólise.



**Figura 3.1.** Forno tipo TLUD, produzido na UFS e utilizado para produção de biocarvão. São Cristóvão-SE.

As amostras do biocarvão foram submetidas à análise laboratorial onde foram determinados a umidade na base massa, matéria volátil, cinzas e carbono fixo, sendo essa realizada em forno tipo mufla seguindo metodologia descrita por (ABNT, 1986), (Tabela 4.2).

Também foram determinadas as concentrações de P disponível, K trocável, Na trocável nas amostras de biocarvão, nessas análises seguiu-se a metodologia utilizada na determinação da fertilidade dos solos (SILVA, 2009), para todas as análises foram realizadas 3 repetições e reagentes de grau analítico. A utilização do método utilizado na determinação da fertilidade dos solos foi com o intuito de tentar entender quanto o biocarvão poderia interferir e contribuir com resultados das análises de solo após a aplicação dos tratamentos.

A biomassa vegetal utilizada na produção do biocarvão foi o resíduo da produção de coco (cascas de coco seco) (Figura 3.2 B), coletado na propriedade rural São João, produtora do fruto, localizada no povoado Poxim, no município de Japoatã, Estado de Sergipe. Os

resíduos de coco foram coletados já secos e posteriormente armazenados em estufa agrícola para perda de eventual umidade ainda presente. A redução da umidade aumenta a eficiência energética da pirólise. Os resíduos também foram submetidos a análises químicas seguindo metodologia utilizada na determinação da composição química de material vegetal (EMBRAPA, 2009), (Tabela 3.3).



**Figura 3.2:** (A) Biocarvão após o processo de carbonização, (B) biomassa vegetal utilizada (casca de coco seco). São Cristóvão-SE.

**Tabela 3.2:** Composição elementar do biocarvão de casca de coco utilizado no estudo. São Cristóvão-SE.

Elementos	Unidade	Resultado
pH	--	9,88
CE	mS/ cm à 25° C	2,195
Carbono Orgânico Total (Dicromato)		62,39
N Total		0,45
Umidade	%	8,20
Cinzas		8,97
Material Volátil		36,99
Carbono Fixo		54,04
Relação C/N	--	138,64
NH <sub>4</sub>		nd*
NO <sub>3</sub>		nd*
P disponível	mg kg <sup>-1</sup>	233,5
K trocável		37709,5
Na trocável		18150
Al trocável		nd*
Ca trocável	cmol kg <sup>-1</sup>	1,8
Mg trocável		1,9
nd* - não detectado		

**Tabela 3.3:** Composição elementar da casca de coco utilizada na produção do biocarvão. São Cristóvão-SE.

Elementos	Unidade	Resultado
C		43,45
N total	%	0,32
Umidade		11,64
Cinza		3,03
C/N		136,53

### 3.2.3- Instalação e condução do experimento

O experimento foi disposto em delineamento blocos casualizados, com 6 tratamentos (doses de biocarvão aplicadas: 0; 2,5; 5; 10; 20 e 30t ha<sup>-1</sup> e 5 repetições/blocos, sendo que cada bloco possuía apenas uma repetição de cada tratamento, totalizando 30 parcelas.

Cada parcela foi formada por um vaso de formato de base de cone com as seguintes dimensões: 50 cm de altura e 17,5 cm diâmetro da base menor (base do vaso), 29,5 cm diâmetro da base maior (borda do vaso), totalizando 22,16 dm<sup>3</sup> de volume. Tendo em vista que o carvão foi aplicado apenas nos primeiro 20 cm do vaso, a partir da borda, o volume de solo que recebeu o biocarvão é de 11,48 cm<sup>3</sup>, pois também é representado por uma base de cone com dimensões de 20 cm de altura, 24,5 cm diâmetro da base menor, 29,5 cm diâmetro da base maior (borda do vaso).

Cada vaso recebeu 30,85 kg de solo com base na densidade de 1,392 kg dm<sup>3</sup>, calculada previamente através do método da proveta. Na montagem do vaso, foi inicialmente transferido a quantidade de 14,86 kg de solo, sem biocarvão, quantidade essa suficiente para preencher os primeiro 30 cm de altura do vaso (Figura 3.3). Após o preenchimento dos 30 cm apenas com solo, pesou-se 15,99 kg de solo e as respectivas doses de biocarvão (0; 14,36; 28,71; 57,42; 114,84 e 172,26 g por vaso) para compor o restante de cada vaso (Figura 3.4), quantidades essas que foram calculadas com base no volume de solo presente em um hectares na profundidade de 20 cm. Após o preenchimento dos vasos, foi feita a adição de água de modo a alcançar cerca de 70 % da capacidade de campo, sendo que foi realizado um análise da umidade na capacidade de campo em vaso, contendo o solo utilizado no estudo. Os tratamentos foram incubados por uma semana antes da semeadura a fim de proporcionar equilíbrio ao sistema, sendo estes vasos organizados em três fileiras com 10 vasos cada (Figura 3.5), A cultura utilizada na pesquisa foi o girassol (*Helianthus annuus L.*), cultivar híbrida Embrapa 122.





**Figura 3.3:** Preenchimento dos primeiros 30 cm do vaso apenas com solo, (A) visão superior do vaso contendo apenas solo na altura de 30 cm e (B) visão lateral com linha que delimita a altura onde adicionou-se apenas solo. São Cristovão-SE.



**Figura 3.4:** Preenchimento dos últimos 20 cm com a mistura de solo e biocarvão (A) visão superior do vaso contendo apenas solo na altura de 30 cm, (B) Biocarvão e (C) solo utilizados no experimento. São Cristovão-SE.



**Figura 3.5:** Distribuição dos vasos plantados com girassol (parcela experimental) na estufa agrícola. São Cristovão-SE.

As adubações de plantio e cobertura foram realizadas com base nas análises de solo e manual de recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo (Boletim 100) sendo a de plantio imediatamente antes da semeadura e a de semeadura aos 30 dias após a emergência das plantas, a utilização deste manual para recomendação ocorreu devido à ausência da cultura do girassol no manual de recomendação para o estado de Sergipe.

A umidade do solo durante todo o período foi monitorada com o uso de tensiômetros instalados em todos os vasos, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, de modo que todas as parcelas fossem monitoradas, mantendo a tensão da água sempre próxima a 33 kPa, tensão essa referente à capacidade de campo do solo utilizado. A leitura da tensão nos tensiômetros era realizada com auxílio de um tensímetro digital, sendo essas leituras realizadas no período da manhã. Após a leitura, realizava-se a irrigação, utilizando água fornecida pela companhia de abastecimento do Estado de Sergipe, com o auxílio de uma proveta graduada, sendo que todos os tratamentos recebiam a mesma lâmina de água.

#### 3.2.4. Análises físicas e químicas do solo

Ao sétimo dia após a incubação e antes da semeadura e adubação e após o final do experimento (colheita das plantas 78 dias após a incubação) amostras deformadas de solo foram coletadas em todos os vasos, sendo na profundidade de 0-20 cm para as amostras coletadas sete dias após a incubação e na profundidade de 0-20 cm e 20-40 cm para as coletas 78 dias após (para determinação do pH, CE, concentrações de Ca, Mg, Al, P, Na, K e C) e indeformadas, apenas no final do experimento e na profundidade de 0-20 cm (para determinação da capacidade de água campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), capacidade de retenção de água no solo, macro e microporosidade e densidade do solo). Os processos metodológicos para realização das análises físicas seguiu metodologia proposta pela Embrapa (1997) e químicas seguiram a metodologia proposta pela Embrapa (2009).

As amostras indeformadas foram coletadas em anéis cilíndricos de metal com o auxílio do Trado Uhland. Após a coleta, as amostras foram processadas e encaminhadas para o laboratório, onde foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água numa bandeja, até 2/3 da altura do cilindro. Na determinação da macro e microporosidade, o potencial utilizado foi de -6 kPa utilizando a mesa de tensão. Para a determinação da capacidade de campo (CC), utilizou-se as placas de Richard, em potencial de -33 kPa. O ponto de murcha permanente (PMP) foi determinado também utilizando-se as placas de Richards a um potencial de -1500 kPa.

Após a saturação, as amostras foram pesadas e encaminhadas para a mesa de tensão para determinação da macro e microporosidade e em seguida, para as placas de Richard para determinação da CC e PMP, permanecendo na mesa ou placas até atingirem o equilíbrio.

A densidade do solo foi determinada pela relação entre a massa do solo seco a 105 °C e o volume do anel. A disponibilidade total de água no solo foi calculada pela diferença entre CC e PMP na base volume.

Na coleta das amostras deformadas foi utilizado um trado cilíndrico confeccionado com cano de PVC de 25 mm, em seguida as amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar a uma temperatura de 40 °C, destorroadas e peneiradas em peneira de 2 mm. Após o processamento do solo, realizou-se as análises químicas (Carbono, pH, CE, CTCefetiva, concentrações de P, K, N, Ca, Mg e Na), seguindo metodologia proposta pela Embrapa (2009). Os valores de pH foram obtidos através da medição eletroquímica da concentração efetiva de íons  $H^+$  na solução do solo, por meio de eletrodo combinado, imerso em suspensão solo/água na proporção de 1:2,5. Na mesma solução também foi realizada a leitura da condutividade elétrica. O Ca e o Mg trocáveis foram determinados pelo método complexiométrico com o emprego de EDTA ( $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ ) após a extração com KCl 1M.

O Al foi determinado pelo método volumétrico por titulação com hidróxido de sódio ( $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ ) utilizando o mesmo extrato utilizado na análise de Ca+Mg. O P extraído pela solução extratora de Mehlich 1, determinado espectrofotometricamente, por meio da leitura da intensidade da cor do complexo fosfomolibdico, produzindo pela redução do molibdato com ácido ascórbico. O K foi determinado pelo método direto pelo fotômetro de chama após a extração do solo pela solução extratora de Mehlich 1 e o carbono determinado através da oxidação do carbono presente no solo por íons de dicromato, em meio ácido e titulação com sulfato ferroso amoniacal.

### 3.3.5. Análise estatística

Os resultados foram analisados com o auxílio dos programas "R" e SigmaPlot 12.0. Como as doses de biocarvão são considerados fatores quantitativos (doses em  $\text{t ha}^{-1}$ ), realizou-se análise de regressão associando-se os coeficientes de correlação ( $P < 0,05$ ) e determinação de cada modelo, utilizando o software R para obtenção da equação e plotagem dos gráficos com o auxílio do SigmaPlot.

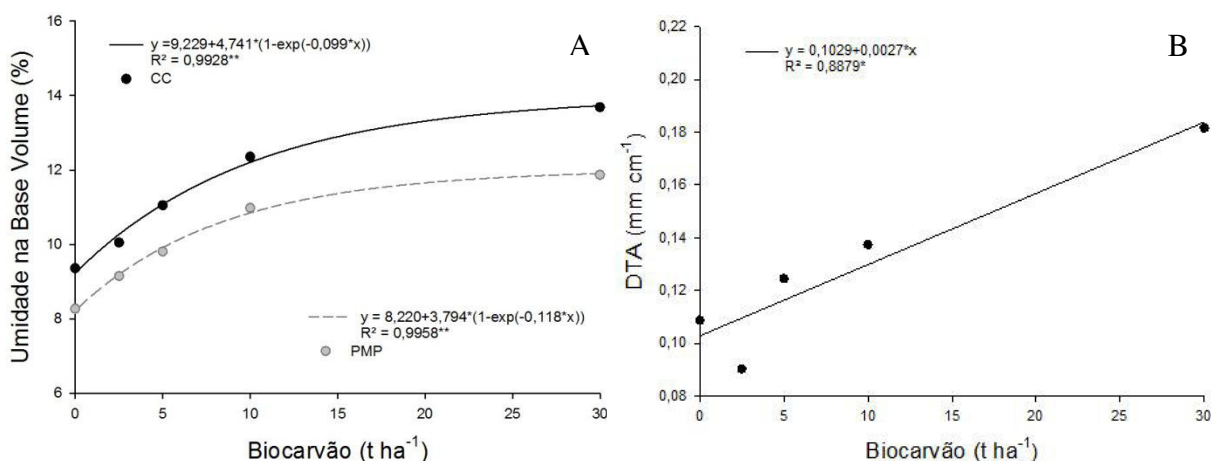
## 3.3-RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.3.1. Efeito do biocarvão em alguns parâmetros físico-hídricos do solo

Uma das aplicações mais promissoras do biocarvão no solo é como condicionador, com elevadas expectativas de melhoria na dinâmica da água no solo. No presente estudo, os teores de umidade na base volume ( $\Theta$ ), tanto para a capacidade de campo (CC) quanto para o ponto de murcha permanente (PMP), foram influenciados significativamente ( $P < 0,05$ ) pela aplicação das diferentes doses de biocarvão (Figura 3.6 A). Observou-se uma maior amplitude entre as curvas que representam o ponto de PMP e CC com o aumento da dose de biocarvão. Tendo em vista que a disponibilidade total de água nos solos (DTA) é o intervalo entre a CC e o PM, pode-se concluir que houve aumento na DTA com o aumento das doses de biocarvão (Figura 3.6 B). Esses resultados corroboram com os de Abel et al. (2013), os quais verificaram um aumento na retenção de água em solos arenosos que foram tratados com biocarvão de palha de milho. Ulyett et al. (2014) verificaram comportamento semelhante em dois solos arenosos tratados com biocarvão produzidos a partir de resíduos de madeira como sicômoro (*Acer pseudoplatanus L.*), carvalho (*Quercus sp.*), faia (*Fagus sylvatica L.*) e bird

cherry (*Prunus padus*). Os autores atribuíram os resultados à estrutura porosa do biocarvão. Madari et al. (2006), em trabalho desenvolvido com biocarvão produzido a partir de madeira de eucalipto, verificaram uma alta porosidade e elevada área de superfície específica, fato que pode contribuir com a retenção de água no solo, principalmente os de textura arenosa. Segundo Nóbrega (2011), a aplicação de biocarvão ao solo pode causar influência na retenção de água por efeitos diretos e indiretos, sendo o efeito direto relacionado com a sua grande superfície interna e pela elevada quantidade de microporos, onde a água fica retida por capilaridade (KARHU et al., 2011). Já o efeito indireto relaciona-se com a hipótese de que a aplicação de biocarvão ao solo melhora a agregação ou a estrutura do mesmo. Contudo, o efeito indireto pode levar algum tempo (meses ou anos) para acontecer.

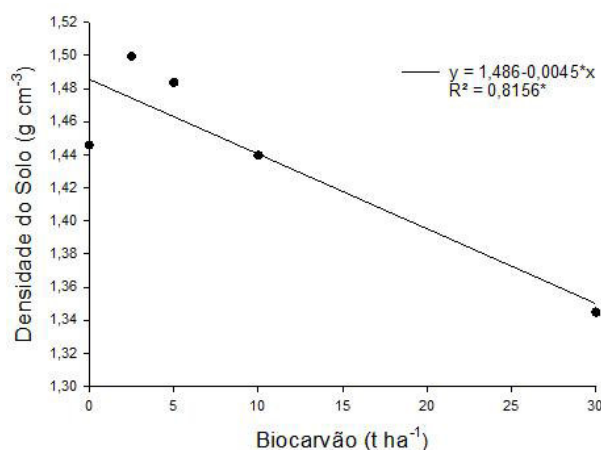
Apesar do pequeno intervalo de tempo entre a aplicação de biocarvão e a avaliação dos parâmetros físicos do solo no presente estudo, os valores encontrados nas análises de macroporosidade, microporosidade e densidade do solo sugerem que houve influência indireta do biocarvão na estrutura do solo. Ouyang et al. (2013) observaram alteração nos macroagregados 90 dias após a aplicação do biocarvão no solo. O aumento na disponibilidade total de água no solo tratado com biocarvão difere da tendência geralmente observada na DTA em solos tratados com resíduos orgânicos comuns, como resíduos vegetais e esterco, onde se observa aumento na umidade da CC com o aumento do teor de matéria orgânica, porém o mesmo acontece com a umidade no PMP (BRADY E WEIL, 2002), o que confirma o efeito positivo do biocarvão na retenção e disponibilidade de água no solo. Portanto, é provável que o uso de biocarvão proporcione melhor eficiência no uso da água, tanto em áreas irrigadas e principalmente em áreas de sequeiro, onde o fornecimento de água para as plantas não pode ser controlado, podendo reduzir o efeito de veranicos sobre os cultivos.





**Figura 3.6** (A) Capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP), (B) disponibilidade total de água (DTA) no solo na camada de 0-20 cm no final do experimento (74 dias após a aplicação), em função das doses de biocarvão.  $R^2$  seguido por \*\* e \* são significativos a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F e <sup>(ns)</sup> não significativo. São Cristóvão-SE.

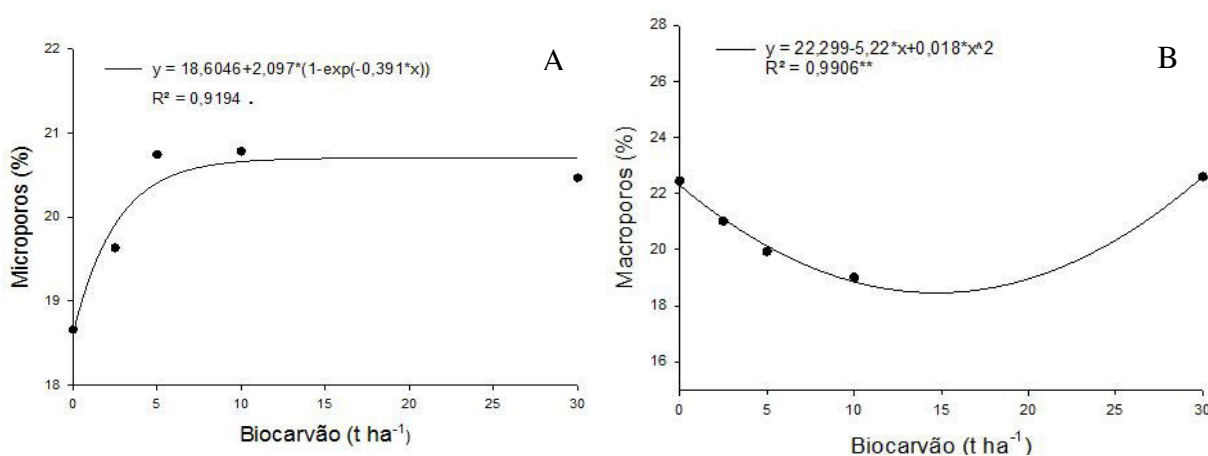
A densidade do solo nas unidades experimentais variou de 1,35 a 1,50 g cm<sup>-3</sup>, valores condizentes com o tipo de solo usado no ensaio (Figura 3.7). Houve redução significativa ( $P < 0,05$ ) na densidade do solo com o aumento da dose de biocarvão aplicada. Pode-se também observar na Figura 3.7 que pequenas quantidades de biocarvão podem causar um aumento na densidade do solo, o que pode não estar relacionado com o efeito estrutural e sim ser causado pelo entupimento de poros maiores no solo. Quantidades maiores promovem maior efeito na redução da densidade do solo. Resultados semelhantes foram observados por Abel et al. (2013), utilizando biocarvão produzido a partir de plantas de milho.



**Figura 3.7:** Densidade do solo na camada de 0-20 cm no final do experimento (74 dias após a aplicação), em função das doses de biocarvão.  $R^2$  seguido por \*\* e \* são significativos a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F e <sup>(ns)</sup> não significativo. São Cristóvão-SE

O bom ajuste nas equações da Figura 3.8 B, observado nos valores de  $R^2$ , indica que adição de biocarvão influenciou a macroporosidade, obtendo-se uma resposta quadrática com o aumento das doses do biocarvão. Essa redução inicial da macroporosidade coincide com o aumento da microporosidade (Figura 3.8 B), fato que provavelmente está relacionado com a ocupação de parte dos macroporos do solo pelas partículas finas do biocarvão, convertendo parte desses macroporos em microporos. Já para a maior dose de biocarvão 30 t ha<sup>-1</sup>, observa-se que a macroporosidade voltou a aumentar retornando a valores próximos do tratamento controle. Essa observação pode ter relação com uma maior estruturação observada nesse tratamento quando comparado aos demais. A presença de biocarvão aumentou aproximadamente de 5 a 11% a microporosidade do solo (Figura 3.8 A), o que pode ter

resultado no aumento da retenção de água (Figura 3.3 B). Observou-se um comportamento exponencial na microporosidade do solo, com estabilização próximo à dose  $10 \text{ t ha}^{-1}$ . Em se tratando de solo com 71% de areia (Tabela 1), como no solo do presente estudo, o aumento da microporosidade pode ter tido uma grande contribuição no armazenamento de água no solo. Petter et al. (2012), utilizando o biocarvão como condicionador de substratos para produção de mudas de alface, verificaram uma alteração nas características físicas do substrato, principalmente na porosidade. Para Nóbrega (2011), essa capacidade de atuar nas propriedades físicas do solo está ligado às propriedades do biocarvão como alta porosidade e grande superfície específica.



**Figura 3.8:** (A) Macro e (B) Microporosidade na camada de 0-20 cm no final do experimento, em função das doses de biocarvão,  $R^2$  seguido por \*\*, \* e . são significativo a 1%, 5% e 10% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F e <sup>(ns)</sup> não significativo. São Cristovão.

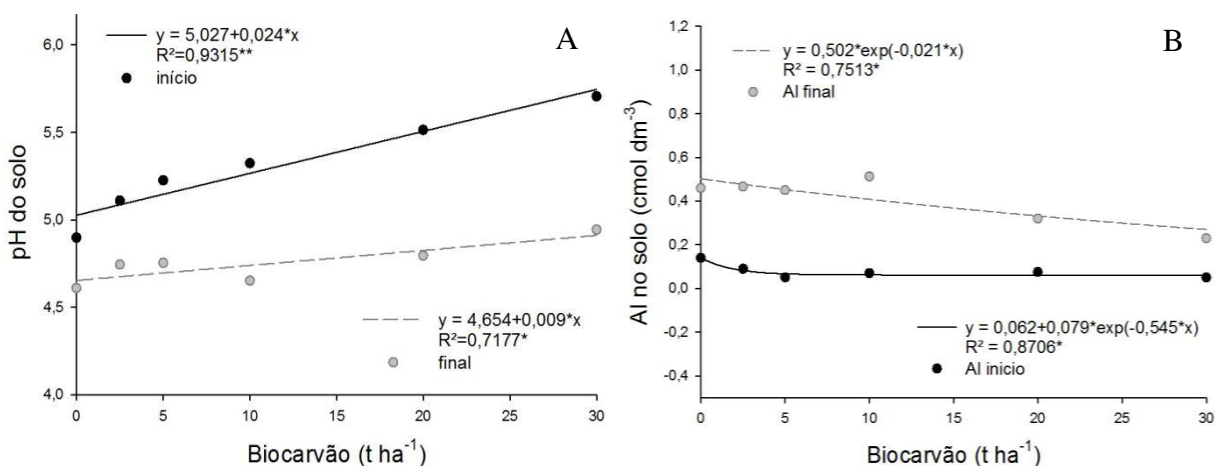
### 3.3.2. Efeito do biocarvão em alguns parâmetros químicos do solo

Os valores de pH variaram de 4,9 a 5,7 uma semana após a incorporação do biocarvão no solo, e de 4,6 a 4,8 após 78 dias da incubação (Figura 3.9 A). O aumento do pH do solo em resposta à presença de biocarvão já era esperado uma vez que o pH do biocarvão de casca de coco foi de 9,8 (Tabela 3.2). Aumentos significativos do pH do solo foram observados em resposta ao aumento da quantidade de biocarvão aplicada, com valores que chegam a quase uma unidade de pH na maior dose de biocarvão. No entanto, um fato curioso é o rápido efeito do biocarvão sobre o pH do solo, o que sugere elevada reatividade do material. Foi observado também que o efeito do biocarvão sobre o pH do solo pode não ser duradouro, pois 78 dias após a incorporação, os valores de pH do solo reduziram quando comparado aos valores do início da incubação, porém ainda observa-se uma influência dos tratamentos a nível ( $P < 0,05$ ) de probabilidade. A absorção de cátions básicos pelas plantas a exudação de ácidos orgânicos

durante o desenvolvimento vegetal e o natural poder tampão da argila do solo podem ter provocado a redução do pH do solo no final do ensaio.

Liu et al. (2012) utilizaram resíduo da produção de carvão comercial como biocarvão misturado com composto orgânico em experimento de campo com duração de 4 meses, observaram aumento significativo do pH do solo ao final do estudo.

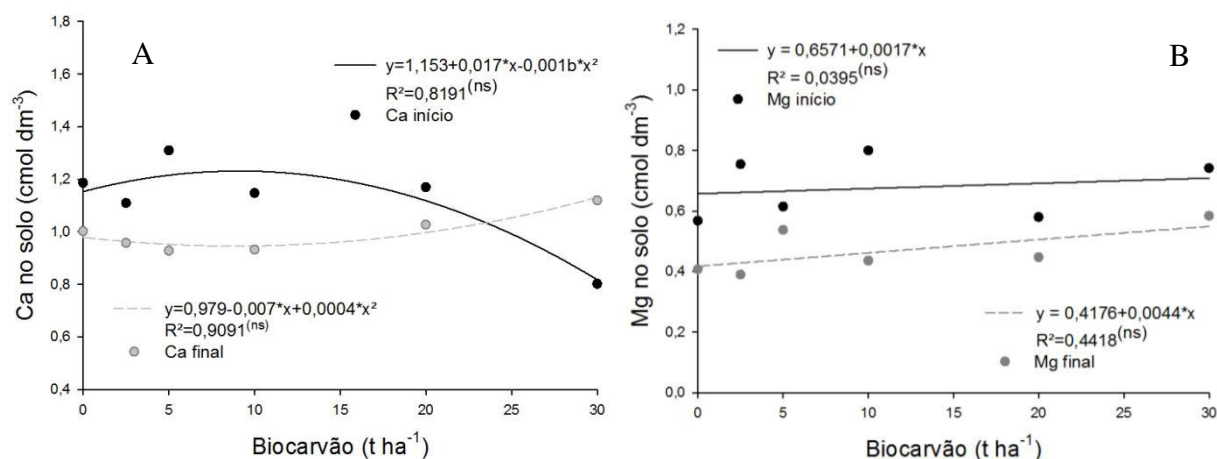
Na Figura 3.9 B, observa-se que o Al disponível no solo, na camada de 0-20 cm, também sofreu influência das doses de biocarvão aplicadas ( $P < 0,05$ ), fato esse já esperado em virtude da redução da acidez do solo em função dos tratamentos e do comportamento inverso dessas duas variáveis (MALAVOLTA, 1979). Essa redução também pode estar relacionada à capacidade do biocarvão em adsorver cátions tornando-os indisponíveis.



**Figura 3.9:** (A) pH e (B) alumínio disponível (Al) na camada de 0-20 cm, em função das doses de biocarvão.  $R^2$  seguido por \*\*, \* são significativo a 1%, e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F e <sup>(ns)</sup> não significativo. São Cristóvão-SE.

Os valores de Ca e Mg disponíveis na camada de 0-20 cm não foram influenciados significativamente pela adição de biocarvão (Figura 3.10 A e B).



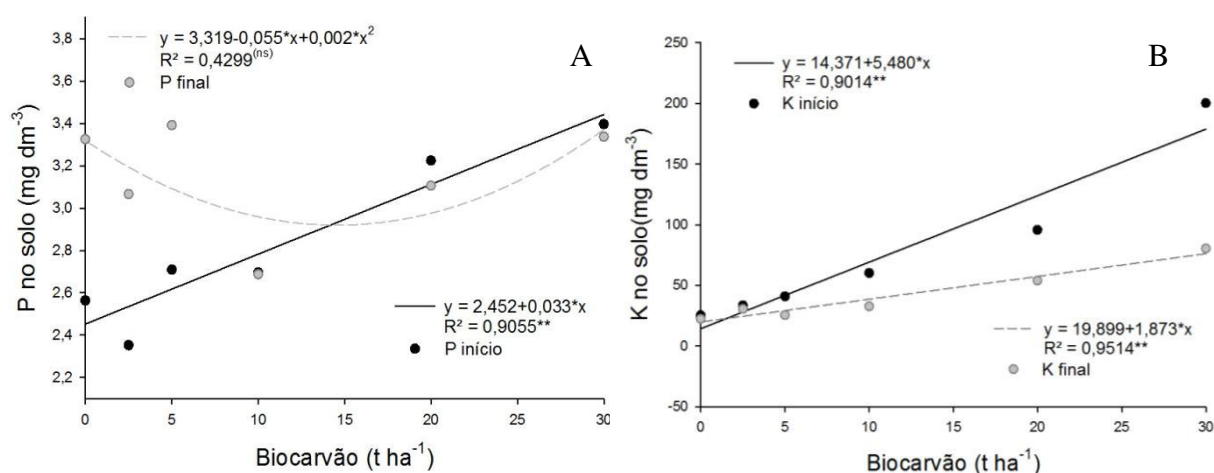


**Figura 3.10:** Cálcio (Ca) magnésio (Mg) na camada de 0-20 cm, em função das doses de biocarcão. R<sup>2</sup> seguido por \*\*, \* são significativos a 1%, e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F e <sup>(ns)</sup> não significativo. São Cristovão-SE

No início do ensaio, a concentração de P disponível no solo na camada de 0-20 cm variou de 2,38 a 3,40 mg dm<sup>-3</sup>, sendo que houve aumento linear significativo ( $P < 0.05$ ) da quantidade de P no solo com o aumento da quantidade de biocarcão (Figura 3.11 A). Esse resultado pode estar relacionado tanto com a concentração de P no biocarcão (Tabela 2) quanto com o efeito do biocarcão no pH e na concentração de Al trocável no solo, pois segundo Malavolta (1979), o pH é um atributo que interfere diretamente na disponibilidade de vários nutrientes presentes no solo, sendo o P igualmente afetado, pois em determinada faixa de pH ocorre uma maior formação de compostos de baixa solubilidade entre o P e alguns elementos, sendo o Al um desses elementos. Já no final do ensaio, observou-se que não houve resposta do P no solo em função dos tratamentos (Figura 3.11 A). Apesar do aumento da acidez do solo ao longo do ensaio e da absorção de P pelas plantas, as concentrações de P no final do ensaio foram maiores do que no início do ensaio para o tratamento controle e as duas menores doses de biocarcão. Já nos tratamentos com as maiores doses de biocarcão, os valores de P no início e no final apresentaram valores muito próximos, possivelmente esse aumento seja proveniente do adubo aplicado na semeadura, pois a primeira coleta ocorreu antes dessa prática. Aumento do P disponível no solo em resposta a aplicação de biocarcão foi observado por Olmo et al. (2015), onde foi utilizado biocarcão de palha de trigo e poda de oliveira.

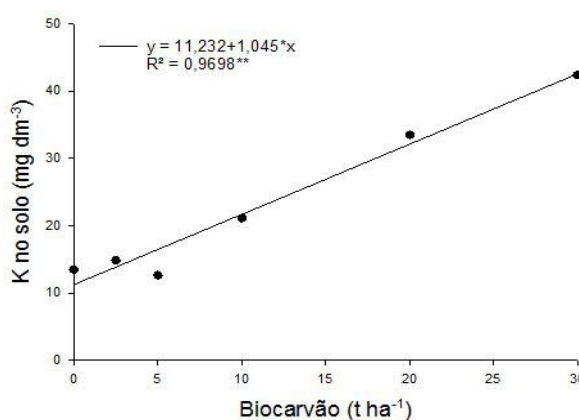
As concentrações de K variaram de 25 a 200 mg dm<sup>-3</sup> no início do ensaio, e de 25 a 80 mg dm<sup>-3</sup> no final, sendo que em ambos os períodos de avaliação houve resposta positiva e linear com relação ao aumento da quantidade de biocarcão no solo (Figura 3.11 B). Esse resultado foi causado pela grande quantidade de K no biocarcão (Tabela 2). A influência do

biocarvão observada no final do experimento, apesar de apresentar valores menores que os do início do experimento, é uma evidência da capacidade do biocarvão na adsorção certa quantidade de cátions como o K, essa redução nas concentrações de K ao longo do tempo nos tratamentos que receberam maiores doses na camada de 0-20 cm, possui uma relação com o aumento nas concentrações de K no final do experimento na camada de 20-40 cm (Figura 3.12) confirmando assim um aumento no fluxo vertical do K no perfil em função das doses de biocarvão e consequentemente aumento da lixiviação desse elemento. El-Naggar et al. (2015), em experimento de incubação durante 90 dias utilizando diferentes misturas de resíduo de conocarpus (*Conocarpus erectus* L), biocarvão de conocarpus e esterco de aves, também verificaram aumento da disponibilidade de P e K em um solo arenoso.



**Figura 3.11:** Fósforo (P) e Potássio (K) disponíveis na camada de 0-20 cm, em função das doses de biocarvão.

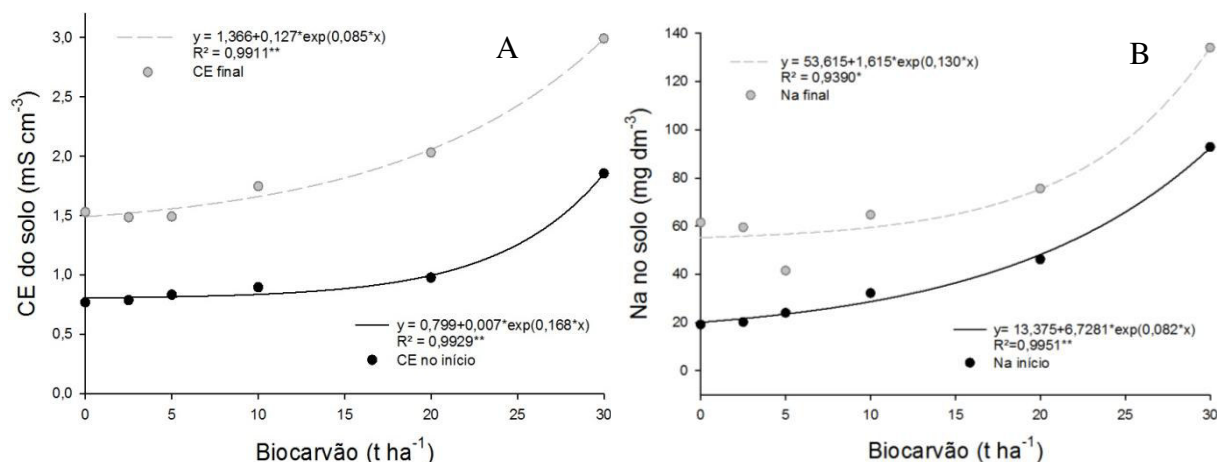
$R^2$  seguido por \*\*, \* são significativos a 1%, e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F e <sup>(ns)</sup> não significativo. São Cristovão-SE



**Figura 3.12:** Potássio (K) disponíveis no final do experimento na camada de 20-40 cm, em função das doses de biocarvão.  $R^2$  seguido por \*\*, \* são significativos a 1%, e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F e <sup>(ns)</sup> não significativo. São Cristovão-SE

Os valores de condutividade elétrica do solo (CE) (Figuras 3.13 A) e do Na trocável (Figuras 3.13 B) sofreram aumentos significativos ( $P < 0,05$ ) em função dos tratamentos aplicados, tanto no início quanto no final do experimento. Houve correlação positiva e significativa entre as variáveis, sendo Na (0,963) e K (0,939) os principais responsáveis pelo aumento na CE no início do ensaio. No final do ensaio, as correlações foram de 0,761 para o Na e 0,835, para o K.

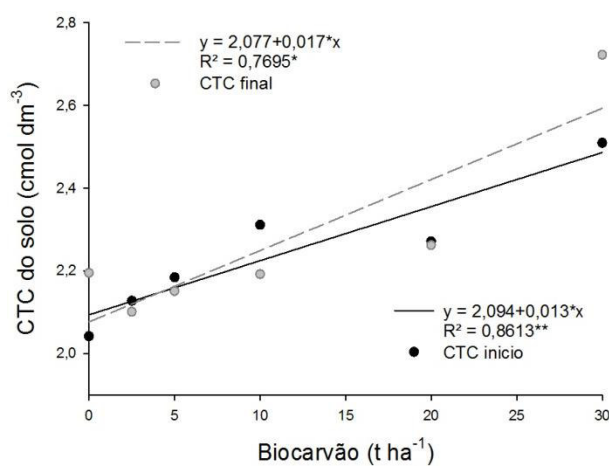
Apesar dos efeitos negativos normalmente associados a elevados teores de Na no solo bem como elevados valores de CE, os quais podem interferir no desenvolvimento das culturas, neste experimento não foi observado nenhuma interferência nas plantas cultivadas. Mesmo para o tratamento que recebeu a maior dose de biocarvão ( $30 \text{ t ha}^{-1}$ ), a CE não ultrapassou  $4 \text{ mS cm}^{-1}$ , ou seja, em nenhum tratamento a CE atingiu valor suficiente para considerar o solo como salino.



**Figura 3.13:** Condutividade elétrica do solo (CE) e sódio (Na) disponível na camada de 0-20 cm, em função das doses de biocarvão.  $R^2$  seguido por \*\*, \* são significativo a 1%, e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F e <sup>(ns)</sup> não significativo. São Cristovão-SE

Um dos principais benefícios atribuídos ao uso de biocarvão no solo está relacionado ao aumento da CTC (GASKIN et al., 2008), fato que foi confirmado no presente estudo (Figura 3.14). Independente do tempo de contato do biocarvão com o solo, a capacidade de troca de cátions efetiva (CTC efetiva) sofreu interferência positiva das doses de biocarvão, variando de 2,04 a 2,51  $\text{cmol dm}^{-3}$  e de 2,10 a 2,72  $\text{cmol dm}^{-3}$  no início e final do experimento, respectivamente, sendo esses valores impulsionados principalmente pelo aumento nos teores de K e Na observados nas figuras 3.12 B e 3.13 B. O aumento verificado aos 78 dias após a aplicação evidencia o potencial do biocarvão na adsorção de cátions e no aumento e manutenção da CTC a médio prazo. Considerando os baixos valores de CTC característicos da maioria dos solos tropicais, o manejo com biocarvão nesses solos pode ser

uma alternativa viável, de baixo custo e de longo prazo para aumentar a capacidade retentiva do solo, fato esse que poder ser de extrema importância no maior aproveitamento dos fertilizantes aplicados nas lavouras. Segundo Mangrich et al. (2011), essa capacidade do biocarvão em aumentar a CTC está associada à presença de grupos funcionais oxigenados, tais como hidroxilas e carboxilas ligadas às estruturas aromáticas, tornando-o ativo. Andrade et al. (2015), em experimento de incubação com duração de 64 dias, utilizaram cama de frango e biocarvão de cama de frango incorporados ao solo e também observaram um aumento progressivo da CTC efetiva em função das doses de biocarvão.



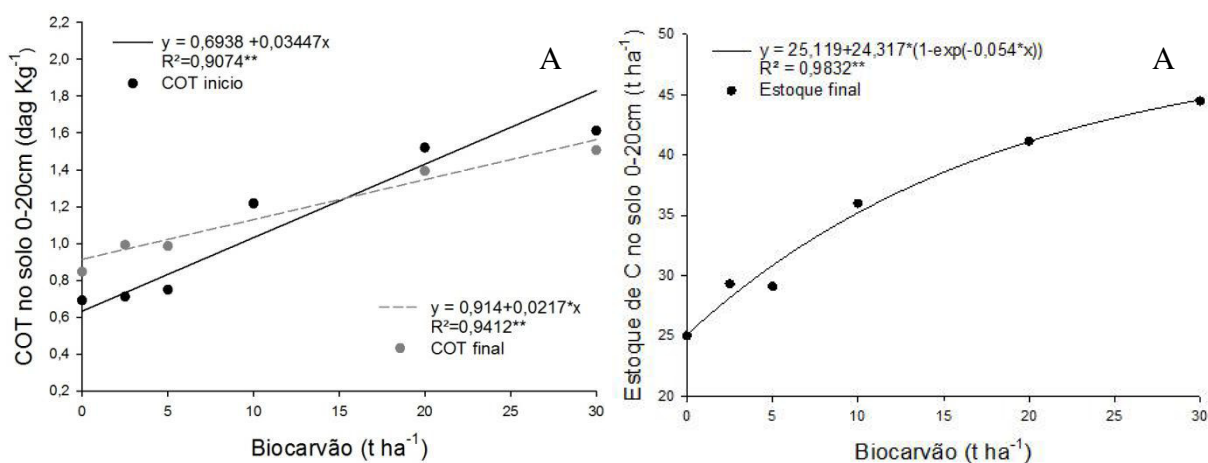
**Figura 3.14:** Capacidade de troca de cátion efetiva (CTC efetiva) na camada de 0-20 cm, em função das doses de biocarvão.  $R^2$  seguido por \*\*, \* são significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F e <sup>(ns)</sup> não significativo. São Cristovão-SE

A estabilidade do carbono do biocarvão bem como o efeito da presença de biocarvão na estabilidade da matéria orgânica nativa do solo são aspectos de suma importância para o manejo e potencial de aplicação do biocarvão nos agroecossistemas. Apesar das dificuldades analíticas na determinação dos diferentes tipos de carbono no solo tratado com biocarvão, os resultados do presente estudo mostram que, independente da época de avaliação, o aumento da taxa de aplicação do biocarvão promoveu aumento do carbono orgânico total do solo (COT) (Figura 3.15 A).

A avaliação do COT no final do experimento teve o intuito de verificar o potencial do biocarvão no sequestro de carbono e manutenção de matéria orgânica em níveis adequados no solo, tendo em vista que, em solos de regiões tropicais, a perda de matéria orgânica é grande em função da alta atividade dos microrganismos e das condições climáticas favoráveis ao processo de decomposição. Observando a figura 3.15 A, verificamos que houve aumento significativo ( $P < 0,05$ ) nas taxas de COT em função do aumento das doses de biocarvão, com variações de 18 a 76 % em relação ao tratamento sem biocarvão. Apesar do curto período

entre a aplicação do biocarvão e a última coleta de solo (78 dias), o biocarvão se mostrou eficiente na manutenção do carbono no solo. Segundo Mangrich et al. (2011), o mecanismo que confere ao biocarvão capacidade de atuar no sequestro de carbono nos solos é a sua alta estabilidade química, apresentando uma estrutura interna estável, semelhante ao grafite, e uma estrutura periférica reativa, devido à presença de diferentes grupos químicos capazes de se ligar a substâncias orgânicas, à água e a elementos químicos que atuam como nutrientes para as plantas.

Os estoques de carbono na camada de 20 cm de profundidade variaram de 25,01 a 44,49 t ha<sup>-1</sup>, sendo que houve resposta positiva com relação ao aumento da quantidade de biocarvão no solo (Figura 3.15 B), fato esse que confere ao biocarvão de casca de coco uma excelente alternativa para o sequestro de carbono no solo. Para Petter e Madari (2012), o biocarvão, dado à sua estrutura aromática, é uma forma de carbono relativamente estável no solo, que pode contribuir para a redução da emissão de gases de efeito estufa. Lima (2014) também verificou que o biocarvão proporcionou aumento nos teores e estoques totais de carbono orgânico no solo em longo prazo.



**Figura 3.15:** Carbono Orgânico Total (COT) e estoque de carbono na camada de 0-20 cm, em função das doses de biocarvão. R<sup>2</sup> seguido por \*\*, \* são significativo a 1%, e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F e <sup>(ns)</sup> não significativo. São Cristovão-SE.

### 3.4- CONCLUSÃO

A adição do biocarvão da casca de coco seco ao solo proporcionou melhorias significativas nas características físico-hídricas do solo, confirmando seu potencial como condicionador e como instrumento de manejo para aumentar a eficiência do uso da água nos agroecossistemas. Na maioria dos atributos físicos, os benefícios do biocarvão foram proporcionais às doses aplicadas.

As propriedades químicas do solo também foram favorecidas com a presença do biocarvão, o qual mostrou potencial para uso como corretivo da acidez e como fonte de nutrientes como P e K. Porém a sua aplicação deve ser bem assistida por possuir características químicas limitantes como elevado pH, condutividade elétrica e elevadas concentrações de K e Na.

A utilização do biocarvão proporcionou aumento e manutenção dos estoques de carbono no solo, podendo assim contribuir com o sequestro de carbono.

### 3.5-REFERÊNCIAS

- ABEL, S.; PETERS, A.; TRINKS, S.; SCHONSKY, H.; FACKLAM, M.; WESSOLEK, G. Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. **Geoderma**, v.202, p.183-191, 2013.
- ABNT. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. Carvão Vegetal - Análise Imediata. NBR-8112 (MB1857), 1986.
- ANDRADE, C.A.; BIBAR, M.P.S.; COSCIONE, A.R.; PIRES, A.M.M.; SOARES, Á.G. Mineralização e efeitos de biocarvão de cama de frango sobre a capacidade de troca catiônica do solo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.50, n.5, p.407-416, 2015.
- BRADY, N. C.; WEIL, R.R. **The Nature and Properties of Soils**. Prentice Hall, p.960, 2002.
- BRANTLEY, K.E., BRYE, K.R., SAVIN, M.C. AND LONGER, D.E. (2015) Biochar Source and Application Rate Effects on Soil Water Retention Determined Using Wetting Curves. **Open Journal of Soil Science**, v.5, p. 1-10, 2013.
- CAO, X.D.; MA, L.; GAO, B.; HARRIS, W. Dairy-manure derived biochar effectively sorbs lead and atrazine. **Environmental Science e Technology**, v.43, p. 3285–3291, 2009.
- CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R.; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 5, p. 277-289, 2010.
- CUNHA, T. J.F.; MARADI, B. E.; CANELLAS, L.P.; RIBEIRO, L.P.; BENITES, V. M.; SANTOS, G. A. Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (Terra Preta de Índio) in the Brazilian amazon basin. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p.85-93, 2009.
- EL-NAGGAR, A.H.; USMAN, A.R.A.; AL-OMRAN, A.; OK, Y. S.; AHMAD, M.; AL-WABEL, M.I. carbon mineralization and nutrient availability in calcareous sandy soils amended with woody waste biochar. **Chemosphere**, v. 138, p.67-73, 2015.

GASKIN, J.W.; SPEIR, R. A.; HARRIS, K.; DAS, K. C.; LEE, R. D.; MORRIS, L. A.; FISHER, D.S. Effect of Peanut Hull and Pine Chip Biochar on Soil Nutrients, Corn Nutrient Status, and Yield. **Agronomy Journal**, v. 102, p. 623-633, 2010.

GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal - a review. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, p. 219-230, 2002.

KAMMANN, C. Chancen und Risiken des Einsatzes von Pflanzenkohle: Biokohle in Böden. **Müll und Abfall**, p. 256-263, 2012.

KARHU, K.; MATTILA, T.; BERGSTRÖM, I.; REGINA, K. Biochar addition to agricultural soil increased CH<sub>4</sub> uptake and water holding capacity – Results from a shortterm pilot field study. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 140, p. 309- 313, 2011.

LAL, R. Tillage effects on soil degradation, soil resilience, soil quality, and sustainability. **Soil and Tillage Research**, v.27, p. 1–8, 1994.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for Environmental Management: An Introduction. **Science and Technology**, p.1-12, 2009.

LIMA, L.B. **Desempenho agronômico da soja, fertilidade e dinâmica da matéria orgânica em solo sob aplicação de biochar no cerrado brasileiro**. 81p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás Goiânia, Goiânia, 2014.

LIU, J.; SCHULZ, H.; BRANDL, S.; MIEHTKE, H.; HUWE, B.; GLASER, B. Short-term effect of biochar and compost on soil fertility and water status of a Dystric Cambisol in NE Germany under field conditions. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 175, p. 698–707, 2012.

MADARI, B.E.; COSTA, A.R.; CASTRO, L.M.; SANTOS, J.L.S.; BENITES, V. DE M.; ROCHA, A.O.; MACHADO, P.L.O.A. **Carvão Vegetal como condicionador de solo para Arroz de Terras Altas (Cultivar Primavera): um estudo prospectivo**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, Comunicado Técnico 125, p.6, 2006.

MALAVOLTA, E. **ABC da Adubação**. 4a edição. São Paulo SP: Editora Agronomia Ceres, 1979. 255 p.

MANGRICH, A.S.; MAIA, C. M. B. F.; NOVOTNY, E. H. Biocarvão: As terras pretas de índios e o sequestro de carbono. **Ciência Hoje**, v.47, p. 48-52, 2011.

NÓBREGA, Í.P.C. **Efeitos do Biochar nas propriedades físicas e químicas do solo: - Sequestro de carbono no solo**. 46p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.

OLMO, M.; VILLAR, R.; SALAZAR, P.; ALBURQUERQUE, J.A. Changes in soil nutrient availability explain biochar's impact on wheat root development. **Plant and Soil**, v. 399, p.333-343, 2015.

OUYANG,L.; WANG,F.; TANG,J.; YU,L.; ZHANG, R. Effects of biochar amendment on soil aggregates and hydraulic properties. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.13 p.991-1002, 2013.

PETTER, F.A.; JUNIOR, B.H.M.; ANDRADE,F.R.; SCHOSSLER, T.R.; GONÇALVES, L.G.; MARIMON, B.S. Biochar como condicionador de substrato para a produção de mudas de alface. **Revista Agrarian**, v.5, n.17, p.243-250, 2012.

PETTER, F.A.; MADARI, B. E. Biochar: Agronomic and environmental potential in Brazilian savannah soils. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.7, p.761–768, 2012.

RESTREPO R.J. **La idea y el Arte de fabricar los abonos orgánicos fermentados: aportes y recomendaciones ; una experiencia de agricultores en Centroamérica y Brasil**. Cali: SIMAS, 1998. 151 p.

Sergipe. **Atlas Digital sobre Recursos Hídricos do Estado de Sergipe**. Aracaju: Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos/Superintendência de Recursos Hídricos - SEMARH/SRH, (CD ROOM), 2013.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2ª edição. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.

SILVA, F.C. **Manual de análise química de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos, 2009. 627p.

SOMBROEK, W.; RUIVO, M.L.; FEARNSIDE, P.M. Amazonian dark earths as carbon stores and sinks. In: LEHMANN, J.; VCKERN, D. C.; GLASER, B.; WOODS; W. I. (Eds.). **Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management, part 2**, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. p. 125-139, 2003.

SULMAN, B. N.; PHILLIPS, R. P.; OISHI, A. C.; SHEVLIAKOVA, E.; PACALA. S. W. Microbe-driven turnover offsets mineral-mediated storage of soil carbon under elevated CO<sub>2</sub>. **Nature Climate Change**, v.4, p.1099–1102, 2014.

ULYETT, J.; SAKRABANI, R.; KIBBLEWHITE, M.; HANN, M. Impact of biochar addition on water retention, nitrification and carbon dioxide evolution from two sandy loam soils. **European Journal Of Soil Science**, v.65, p.96-104, 2014.

USEPA, **Overview of Greenhouse Gases**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/climatechange/ghgemissions/gases/co2.html>>. Acesso em: 23/02/2015.



#### **4- BIOCARVÃO E SEU EFEITO NO DESEMPENHO DA CULTURA DO GIRASSOL E NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA SOLUÇÃO DO SOLO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES**

##### **RESUMO**

A inclusão do biocarvão aplicado ao solo para fins agronômicos ainda não foi amplamente estabelecida em função da grande variabilidade entre os diferentes tipos de materiais utilizados na produção, porém em diversos trabalhos pesquisados observa-se uma grande variação nos resultados obtidos desde efeitos positivos, nulos e até negativos quanto ao desenvolvimento das plantas cultivadas, quanto à concentração e lixiviação de nutrientes no solo apresentam grande variação para as diferentes matérias primas utilizadas. O presente trabalho avaliou o efeito de diferentes doses de biocarvão de casca de coco seco no desenvolvimento e produção de biomassa do girassol e na composição química da solução do solo em diferentes profundidades de coleta. O experimento foi desenvolvido em condições protegidas na Universidade Federal de Sergipe, campus de São Cristovão-SE, entre os meses de julho e outubro de 2015. O solo utilizado no estudo foi a camada superficial de um Argissolo Vermelho Amarelo. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com 6 tratamentos (doses de biocarvão aplicadas: 0; 2,5; 5; 10, 20 e 30t ha<sup>-1</sup>) e 5 repetições. Aos 62 dias após a emergência (DAE), todas as plantas foram avaliadas, sendo mensurados altura das plantas, com auxílio de régua graduada, diâmetro do caule a 2 cm do solo, com auxílio de paquímetro digital, e número de folhas totalmente abertas, aos 62 DAE também foi coletado o diâmetro do capítulo com auxílio de paquímetro digital, já a solução do solo foi coletada após específicos eventos de irrigação, sendo essa coletas realizadas aos 6, 13 e 20 dias após semeadura, sendo analisado nesses extratos o pH, CE, concentrações de fósforo, potássio, nitrato e amônio. A adição do biocarvão proporcionou um aumento nos níveis de P e K na profundidade de 0-20 cm, porém contribuiu com o aumento na lixiviação de potássio visto que aumentou os níveis desse elemento na profundidade de 20-40 cm. Aumentou a CE da solução do solo nas duas profundidades estudadas, podendo ser este um limitante a sua utilização em grandes quantidades. Nas doses utilizadas nesses estudos o biocarvão não proporcionou nenhum benefício nem prejuízos ao desenvolvimento e produção de biomassa do girassol, fato esse que é visto positivamente, pois permite a utilização deste material no solo para outros fins como sequestro de carbono, substituição de alguns fertilizantes químicos, destinação de resíduos sólidos, aumento da retenção de água nos solos, sem causar prejuízos ao desenvolvimento das plantas de girassol.

Palavras chave: carbono pirogênico; lixiviação de nutrientes; qualidade do solo e da água; disponibilidade de nutrientes.

##### **ABSTRACT**

The use of biochar in the soil for agronomic purposes has not yet been widely established due to the large variability between different types of materials used in the production process. However, many authors have reported a wide variation in results from positive effects, null and even negative for the effect of biochar on plant growth and development. Also, the concentration and leaching of nutrients in the soil show great variation among biochar types. This study evaluated the effect of different doses of dry coconut shell biochar in the

growth and development of sunflower plants and, in the chemical composition of the soil solution at different soil depths. The experiment was conducted under greenhouse conditions at the Federal University of Sergipe, campus of St. Christopher-SE, between the months of July and October 2015. The soil used in the study was the surface layer of an Yellow Ultisol. The experimental design was a randomized complete block with 6 treatments (biochar rate of application: 0, 2.5, 5, 10, 20 and 30t ha<sup>-1</sup>) and 5 replications. Sixty-two days after plant emergence (DAE), all plants were evaluated for plant height, stem diameter at 2 cm of the soil, number of fully expanded leaves, flower diameter, and plant biomass dry weight. Soil solution was collected after specific irrigation events at 6, 13 and 20 days after plant emergence, and analyzed for pH EC, concentrations of P, K, nitrate and ammonium. The addition of biochar resulted in an increase in the levels of P and K at a depth of 0-20 cm, and increase in K leaching. Soil EC in the soil solution increased at both soil layers indicating a restriction on the use of large amount of biochar. The presence of biochar in the soil, regardless of the rate of application, did not influence the growth and development of sunflower, which can be seen as a positive effect because it means that this type of biochar can be applied to the soil to store carbon without causing harm to the plants.

**Keywords:** pyrogenic carbon; leaching of nutrients; quality of soil and water; availability of nutrients.

#### 4.1- INTRODUÇÃO

O biocarvão resulta da pirólise de resíduos orgânicos diversos, constituindo um material com elevada concentração de carbono orgânico recalcitrante e estável (VERHEINJEN et al. 2010), com características que o torna potencialmente útil como insumo e melhorador das propriedades do solo. Porém, seu grande benefício tem sido atribuído a manutenção do carbono orgânico do solo, pois estima-se que o tempo de residência do carbono do biocarvão varia de centenas a milhares de anos, enquanto que nos resíduos comuns, sem carbonização, esse tempo é de apenas poucas dezenas de anos (LEHMANN et al. 2006). A inclusão do biocarvão como prática de manejo do solo para fins agronômicos ainda não foi amplamente estabelecida em função da grande variabilidade entre os diferentes tipos de materiais carbonizados. Os resultados de pesquisas mostram efeitos positivos (PETTER et al. 2012; LIMA, 2014), nulos e até negativos (BIEDERMAN e HARPOLE et al., 2013) com relação ao efeito dos diferentes tipos de biocarvão no desenvolvimento das plantas, o que torna as investigações com biocarvão de grande interesse prático e científico. Graber et al. (2010), utilizando biocarvão de madeira pobre em nutrientes, verificou efeitos positivos quanto altura das plantas e tamanho das folhas, porém verificou que não houve efeito significativo na produtividade de tomate.

O girassol (*Helianthus annuus*) é uma planta oleaginosa pertencente à família Asteraceae, tendo como local de origem a América Central e América do Norte, apresenta

ampla adaptabilidade às diferentes condições edafoclimáticas e seu rendimento é pouco influenciado pela latitude, altitude e pelo fotoperíodo, podendo ser cultivado nos climas Equatorial, Subtropical, Tropical, Mediterrâneo e Temperado. A Europa representa 71,3% da produção mundial do grão, sendo seguido pela Ásia, América, África e Oceania. Já o país que apresenta a maior produção mundial é a Ucrânia, seguida pela Rússia, Argentina, China e Romênia (FAO, 2013). Na atual situação que se encontra o planeta frente às mudanças climáticas, o girassol passa a despertar grande interesse mundial, pois segundo Santos et al.(2015), a cultura representa uma alternativa a utilização de combustíveis fósseis, sendo usado como matéria prima para a produção de biocombustíveis.

No estado de Sergipe, a cultura do girassol tem recebido atenção da Embrapa Tabuleiros Costeiros cujas pesquisas visam a implantação da cultura em varias regiões do estado como uma alternativa para a produção de grãos, já que a cultura tem facilidade de adaptação a diversas condições climáticas. Contudo, em termos de solos, a cultura do girassol tem preferência por solos de textura média, profundos, com boa drenagem, razoável fertilidade e pH de moderadamente ácido a neutro (LIRA et al., 2011). Portanto, a adição de biocarvão em solo para produção de girassol pode melhorar o ambiente para o crescimento das plantas. O aproveitamento de resíduos sólidos na forma de biocarvão no cultivo do girassol ainda é desconhecido, nem há relatos a respeito da resposta da cultura a presença de biocarvão, contudo, é uma prática que pode associar importantes aspectos ambientais do manejo de resíduos e da produção de culturas com potencial para o programa de biocombustíveis.

Existem vários estudos sobre a utilização de biocarvões produzidos a partir de diferentes tipos de biomassa como madeira, casca de arroz, palha de trigo, cascas de amendoim e esterco de animais (SOHI et al., 2010), porém pouco se sabe sobre a utilização de biocarvão da casca de coco. Testes preliminares mostraram que o material possui elevadas concentrações de potássio, sódio e fósforo, e que proporciona aumentos na CTC do solo. A maioria dessas características são desejáveis, pois contribuem para aumentar a fertilidade do solo, mas é primordial que haja informação a respeito do efeito desse biocarvão na mobilidade de elementos químicos tanto aqueles presentes na própria composição do biocarvão quanto aqueles adicionados via adubação.

O manejo inadequado de insumos nos sistemas agrícolas pode provocar o excesso de importantes nutrientes nos solos, que podem chegar aos cursos d'água, devido a processos como lixiviação e escoamento superficial (CORRIVEAU et al., 2009). Para Lamparelli (2004), a concentração de fósforo e nitrogênio presentes nos corpos hídricos e proveniente de

áreas agrícolas estão entre os principais responsáveis pela eutrofização dos corpos d'água. Para Restrepo (1994), a presença de biocarvão no solo tem sido relacionada a melhorias na capacidade do solo em reter e liberar nutrientes para os vegetais, de forma gradual, o que contribui para diminuir perdas destes nutrientes por lixiviação, reduzindo assim a contaminação da água e os custos com fertilizantes. Yao et al. (2012), em trabalho desenvolvido em colunas de lixiviação, verificaram uma menor concentração de nitrato e amônio no lixiviado para alguns biocarvões estudados. Já Lehmann et al. (2003) não só observaram uma redução significativa da lixiviação de compostos nitrogenados com a aplicação do biocarvão, mas também um maior crescimento e melhor nutrição das plantas cultivadas.

O presente estudo objetivou avaliar o efeito de diferentes doses de biocarvão de casca de coco seco no desenvolvimento e produção de biomassa do girassol e na composição química da solução do solo em diferentes profundidades de coleta.

## 4.2- MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na Universidade Federal de Sergipe, localizada no município de São Cristóvão-SE, em estufa com circulação de ar e controle de temperatura, sendo o sistema de resfriamento acionado quando a temperatura interna da estufa atingia 28° C. As coordenadas geográficas de localização são: 10° 55' 46" de latitude sul e 37° 06' 13" de longitude oeste. A cultura utilizada na pesquisa foi o girassol (*Helianthus annuus L.*), cultivar híbrida Embrapa 122. Esse material destaca-se pela precocidade, sendo cerca de 20 dias mais precoce em comparação a outros híbridos cultivados no Brasil.

O solo utilizado no estudo foi a camada superficial de um solo classificado como Argissolo Vermelho Amarelo segundo Atlas Digital sobre Recursos Hídricos do Estado de Sergipe (2013), sendo este coletado no campo experimental da Universidade Federal de Sergipe, área inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Poxim, localizada no município de São Cristóvão-SE. Após a coleta, o solo foi seco ao ar, destorroado, peneirado em peneira de 2 mm e transportado para a estufa agrícola onde foi realizado o experimento.

Após o processamento, várias amostras simples foram coletadas para compor uma amostra composta de solo destinada a caracterização de atributos físicos (densidade do solo (método da proveta), teores de areia, silte e argila, e classificação textural utilizando o Diagrama triangular utilizado para a classificação textural do solo (Atterbeg)) e químicos (matéria orgânica, pH, condutividade elétrica (CE), capacidade de troca de cátions efetiva

(CTCefetiva), concentrações de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) alumínio (Al) e sódio (Na)), seguindo metodologia proposta por Embrapa (2009), (Tabela 4.1).

**Tabela 4.1:** Atributos físicos e químicos do horizonte superficial do Argissolo Vermelho Amarelo utilizado no estudo. São Cristovão-SE.

Elementos	Unidade	Resultado
pH	--	4,64
CE	mS cm <sup>-1</sup> à 25° C	0,634
M.O.	g dm <sup>-3</sup>	11,06
C		6,36
P Melhich	mg dm <sup>-3</sup>	1,82
K		25,40
Al	cmol dm <sup>-3</sup>	0,45
K		0,06
Ca		0,72
Mg		0,65
SB		1,43
CTC <sub>efetiva</sub>		1,88
V <sub>efetiva</sub>	%	76,13
Densidade	g cm <sup>-3</sup>	1,398
Areia	%	71,57
Silte		13,43
Argila		15,00
Classificação	--	Areia
Textural		Franca

O biocarvão foi produzido em um forno adaptado e produzido na Universidade Federal de Sergipe utilizando um modelo desenvolvido pela IBI (Iniciativa Internacional de Biocarvão), o TLUD (Top Lid Updraft), o qual utiliza chaminé como segunda fase de queima para eliminar os subprodutos voláteis produzidos pela pirólise. Durante o processo, tantos os vapores como os gases não condensáveis são queimados para fornecer energia e dar continuidade ao processo de carbonização.

As amostras do biocarvão foram submetidas à análises laboratoriais onde foram determinados a umidade na base massa, com auxílio de estufa; matéria volátil; cinzas e carbono fixo, sendo essa realizada em forno tipo mufla, seguindo metodologia descrita por (ABNT, 1986), (Tabela 3.2).

Também foram determinados nessas amostras as concentrações disponíveis de P e trocáveis de K, Na, Al, Ca e Mg, também seguindo a metodologia utilizada na determinação da fertilidade dos solos (EMBRAPA, 2009). Amônio (NH<sub>4</sub>) e nitrato (NO<sub>3</sub>) foram determinados seguindo metodologia utilizada na determinação de nitrato e amônio em solo e água (SILVA, 2010) (Tabela 4.2). Todas as análises foram realizadas com 3 repetições e

reagentes de grau analítico. A utilização da metodologia destinada a análise de solo foi com o intuito de tentar entender o comportamento do biocarvão com relação a disponibilização de nutrientes quando aplicado ao solo.

A biomassa vegetal utilizada na produção do biocarvão foi o resíduo da produção de coco (cascas de coco seco), coletado na propriedade rural São João, produtora do fruto, localizada no povoado Poxim, no município de Japoatã, Estado de Sergipe. Os resíduos de coco foram coletados já secos e posteriormente armazenados em estufa agrícola para perda de eventual umidade ainda presente. A redução da umidade aumenta a eficiência energética da pirólise. Os resíduos também foram submetidos a análises químicas seguindo metodologia utilizada na determinação da composição química de material vegetal (EMBRAPA, 2009), (Tabela 4.3).

**Tabela 4.2:** Composição elementar do biocarvão de coco. São Cristovão-SE

Elementos	Unidade	Resultado
pH	--	9,88
CE	mS/ cm à 25° C	2195
Carbono Total (Dicromato)		62,39
N Total		0,45
Umidade	%	8,20
Cinzas		8,97
Material Volátil		36,99
Carbono Fixo		54,04
Relação C/N	--	138,64
NH <sub>4</sub>		nd*
NO <sub>3</sub>		nd*
P disponível	mg kg <sup>-1</sup>	233,5
K		37709,5
Na		18150
Al		nd*
Ca	cmol kg <sup>-1</sup>	1,8
Mg		1,9
nd* - não detectado		

**Tabela 4.3:** Composição elementar da casca de coco. São Cristovão-SE.

Elementos	Unidade	Resultado
C		43,45
N total	%	0,32
Umidade		11,64
Cinza		3,03
C/N		136,53

O experimento foi disposto em delineamento blocos casualizados, com 6 tratamentos que representaram as doses de biocarvão aplicadas ( 0; 2,5; 5; 10; 20 e 30 t ha<sup>-1</sup>), com 5

blocos, sendo que cada bloco possuía apenas uma repetição de cada tratamento, totalizando 30 parcelas, sendo o biocarvão incorporado a uma profundidade de 20 cm no solo.

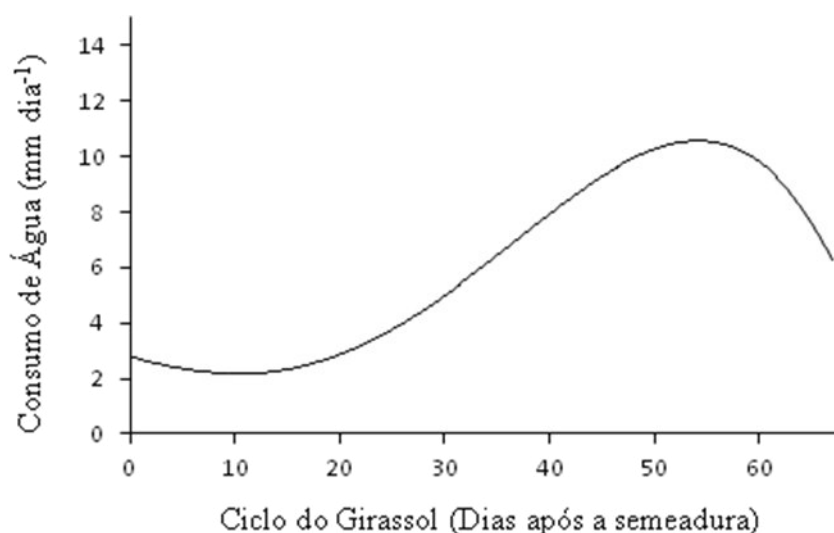
Cada parcela foi formada por um vaso, sendo este no formato de tronco de cone com as seguintes dimensões: 50 cm de altura, 17,5 cm diâmetro da base menor (base do vaso), 29,5 cm diâmetro da base maior (borda do vaso), totalizando 22,16 dm<sup>3</sup> de volume. Tendo em vista que o biocarvão foi aplicado apenas a 20 cm de profundidade, o volume de solo que recebeu o biocarvão foi de 11,48 cm<sup>3</sup>, pois também é representado por um tronco de cone com dimensões de 20 cm de altura, 24,5 cm diâmetro da base menor, 29,5 cm diâmetro da base maior (borda do vaso).

Para o preenchimento dos vasos, utilizou-se o valor da densidade do solo (1,392 kg dm<sup>3</sup>), calculada pelo método da proveta, para determinação da massa de solo a ser transferida para cada recipiente. Uma massa de solo de 30,85 kg foi usada para preencher cada vaso. Na montagem do experimento, foi inicialmente transferido para cada vaso 14,86 kg de solo puro, sem biocarvão, quantidade essa suficiente para preencher os primeiro 30 cm de altura do vaso, mantendo a densidade do solo já mensurada, deixando os 20 cm da camada superior livres para receber a mistura de solo com as diferentes doses de biocarvão. O volume dos 20 cm da camada superficial como já foi citado é de 11,48 dm<sup>3</sup>, sendo necessário a adição de 15,99 kg de solo. Após o preenchimento dos 30 cm apenas com solo, pesou-se 15,99 kg de solo e em seguida misturou-se com as diferentes dose de biocarvão, previamente moído e peneirado em malha de 2 mm. A mistura foi transferida para o vaso. As quantidades de biocarvão aplicadas em cada vaso foram de 0; 14,36; 28,71; 57,42; 114,84 e 172,26 g por vaso, seguindo os tratamentos já mensurados, quantidades essas que foram calculadas com base no volume de solo presente em um hectares na profundidade de 20 cm. Após o preenchimento dos vasos, estes foram irrigados e mantidos úmidos até o dia da semeadura, pratica necessária para induzir as reações do biocarvão com o solo e promover o equilíbrio do sistema.

Foram semeadas 4 sementes por vaso na profundidade aproximada de 4 cm. Oito dias após a emergência, foi realizado o desbaste deixando em cada vaso a planta mais vigorosa. Foi realizada adubação de plantio com N-P-K no dia da semeadura, sendo respectivamente a ureia, o superfosfato triplo e cloreto de potássio as fontes utilizadas. Trinta dias após a emergência, realizou-se a adubação de cobertura com nitrogênio na forma de ureia. As adubações de plantio e cobertura foram realizadas com base nas análises de solo e manual de recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo (Boletim 100) sendo a de plantio realizada imediatamente antes da semeadura e a de semeadura aos 30 dias após a

emergência das plantas, a utilização deste manual para recomendação ocorreu devido à ausência da cultura do girassol no manual de recomendação para o estado de Sergipe.

A umidade do solo durante o ciclo foi monitorada com o uso de tensiômetros instalados em todos os vasos, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, de modo que todas as parcelas fossem monitoradas. A umidade do solo foi mantida próxima à capacidade de campo para minimizar possível estresse hídrico. A determinação da tensão nos tensiômetros era realizada com auxílio de um tensímetro digital, sendo essas leituras realizadas no período da manhã, após a leitura realizava-se a irrigação utilizando água fornecida pela companhia de abastecimento do Estado de Sergipe, com o auxílio de uma proveta graduada, aplicando-se a mesma lâmina para todos os tratamentos. Durante o período acompanhado, cada vaso recebeu 27,34 dm<sup>3</sup> de água, valor equivalente a 400 mm durante o período estudado. No início do ciclo, observou-se um baixo consumo de água, sendo observado um aumento gradual com um pico de consumo no período do início do florescimento e posterior declínio do consumo até a colheita (Figura 4.1).



**Figura 4.1:** Consumo de água ao longo do ciclo da cultura do girassol. São Cristovão-SE.

A emergência das plântulas foi monitorada diariamente entre o dia 02/08/2015 e o dia 12/08/2015, onde posteriormente determinou-se a porcentagem de emergência de cada tratamento.

Aos 62 dias após a emergência (DAE), todas as plantas foram avaliadas, sendo mensurados altura das plantas, com auxílio de régua graduada, diâmetro do caule a 2 cm do solo (Figura 4.2 A), com auxílio de paquímetro digital, e número de folhas totalmente abertas,



aos 62 DAE também foi coletado o diâmetro do capítulo com auxílio de paquímetro digital (Figura 4.2 B).



**Figura 4.2:** (A) avaliação do diâmetro do caule, (B) avaliação do diâmetro do capítulo. São Cristovão-SE.

Foram instalados em todos os vasos extratores de solução do solo nas profundidades de 20 e 40 cm (Figura 4.3). A solução do solo foi coletada após específicos eventos de irrigação, sendo essa coletas realizadas 6 dias após a semeadura (6DAS), 13 dias após a semeadura (13DAS) e 20 dias após a semeadura (20DAS). Logo após a coleta da solução, estas eram encaminhadas para o laboratório onde foram realizadas análises de pH, CE, pela leitura direta com pHmetro e condutivímetro, respectivamente, concentrações de P, analisadas espectrofotometricamente, por meio da leitura da intensidade da cor do complexo fosfomolibdico, produzido pela reação do fósforo presente no extrato com o molibdato de amônio e o ácido ascórbico, K que foi determinado pela leitura direta no fotômetro de chamas,  $\text{NO}_3$  e  $\text{NH}_4$  foram analisados através da destilação em meio básico e titulação com solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Não foi possível a extração da solução do solo na profundidade de 0-20 cm no tratamento contendo a maior dose de biocarvão, provavelmente devido ao entupimento dos poros da capsula porosa do extrator, devido a grande quantidade de biocarvão aplicado ao solo. Já para as análises dos parâmetros químicos da solução do solo na profundidade de 20-

40 cm foi possível coletar a solução do solo em todos os tratamentos (0; 2,5; 5; 10; 20; 30 t ha<sup>-1</sup>).

O fósforo foi analisado apenas nas duas primeiras coletas, pois a solução coletada na terceira extração possuía níveis muito baixos deste elemento não sendo possível sua detecção em quase todas as amostras.

Devido à baixa concentração do nitrato e amônio na camada de 20-40 cm de profundidade, o método utilizado na análise que consiste na destilação seguida de titulação não apresentou sensibilidade necessária para detecção desses compostos em vários vasos.



**Figura 4.3:** Extratores instalados em todos os vasos. São Cristóvão-SE.

Quando o girassol se encontrava no estagio fenológico R<sub>5.10</sub>, (Figura 4.4) foi realizada a colheita das plantas, fase essa em que todas as flores presentes na inflorescência estão abertas, tendo ocorrido aos 62 dias após a emergência. As plantas foram divididas em folhas, caule e capítulo, sendo estes colocados em sacos de papel e levados para estufa com circulação de ar e temperatura controlada de 65°C até peso constante, sendo que, ao final, obteve-se a matéria seca de toda a parte aérea. A colheita foi realizada antes da maturação fisiológica dos frutos (aquênios), pois o girassol necessita de insetos no processo de polinização e como o experimento foi conduzido em estufa agrícola, que dificulta esse



contato, então optou-se por não esperar a ultima fase fenológica representada pela maturação dos aquênios. Esse fato não compromete o trabalho, pois o girassol não se presta apenas a produção de grãos, mas também para produção de forragem, finalidade essa em que as plantas são colhidas antes da maturação dos aquênios.



**Figura 4.4:** Estágio fenológico R5.10, estágio da colheita da plantas. São Cristovão-SE.

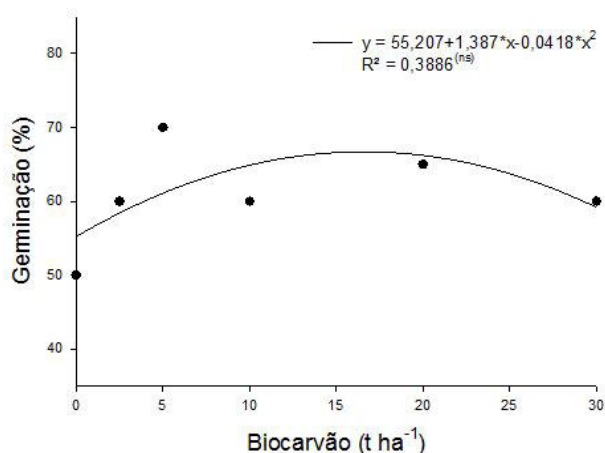
Os resultados foram analisados com os programas "R" e SigmaPlot 12.0. Como as doses de biocarvão são consideradas fatores quantitativos (doses em  $t\ ha^{-1}$ ), realizou-se análise de regressão associando os coeficientes de correlação ( $P < 0,05$ ) e determinação de cada modelo, utilizando o software R para obtenção da equação e plotagem dos gráficos com o auxílio do SigmaPlot.

### 4.3- RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.3.1. Efeito do biocarvão no desenvolvimento e produção de biomassa do girassol

A presença de biocarvão de casca de coco no solo, nas doses avaliadas, não influenciou significativamente a germinação das sementes de girassol ( $P < 0,05$ ) (Figura 4.5). Porém observou-se, em média, uma melhoria em torno de 26% na percentagem de germinação quando comparado com o controle com os tratamento que receberam o biocarvão.

Esse resultado é bastante interessante visto que o biocarvão aplicado nas doses utilizadas no experimento não interferiu negativamente nesse parâmetro, mesmo tendo provocado aumento na condutividade elétrica da solução do solo, o que poderia ter influenciado a absorção de água pela semente, prejudicando sua germinação. Considerando a importância dessa fase no ciclo da cultura, os resultados obtidos foram bastante satisfatórios. Souchie, et al. (2011) também verificaram resultados semelhantes quanto à germinação de sementes de *Tachigali vulgaris* L.



**Figura 4.5:** Porcentagem de germinação das sementes de girassol em função de doses crescentes de biocarvão. R<sup>2</sup> seguido por \*\* e \*significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F, e <sup>(ns)</sup> não significativo. São Cristovão-SE.

Conforme observado na Figura 4.6 A, o número de folhas também não foi influenciado ( $P > 0,05$ ) pela aplicação de biocarvão, fato esse já esperado, pois o número de folhas emitido depende principalmente da cultivar utilizada e a manutenção dessas folhas depende do manejo fitossanitário e nutricional das plantas. Como todos os tratamentos receberam fertilizantes nas doses e momentos recomendados e a fitossanidade foi monitorada em todas as plantas, essas práticas adotadas podem ter influenciado na uniformidade entre os tratamentos.

As plantas de girassol cresceram satisfatoriamente no solo tratado com biocarvão, independente da dose aplicada (Figuras 4.6), visto que as plantas apresentaram desenvolvimento satisfatório para o híbrido utilizado.

Não houve variação significativa para a altura das plantas, diâmetro do caule, diâmetro e massa seca do capítulo e massa seca total da parte aérea da planta, o que pode ser observado nas Figuras 4.6 B, C, D, E e F, respectivamente.

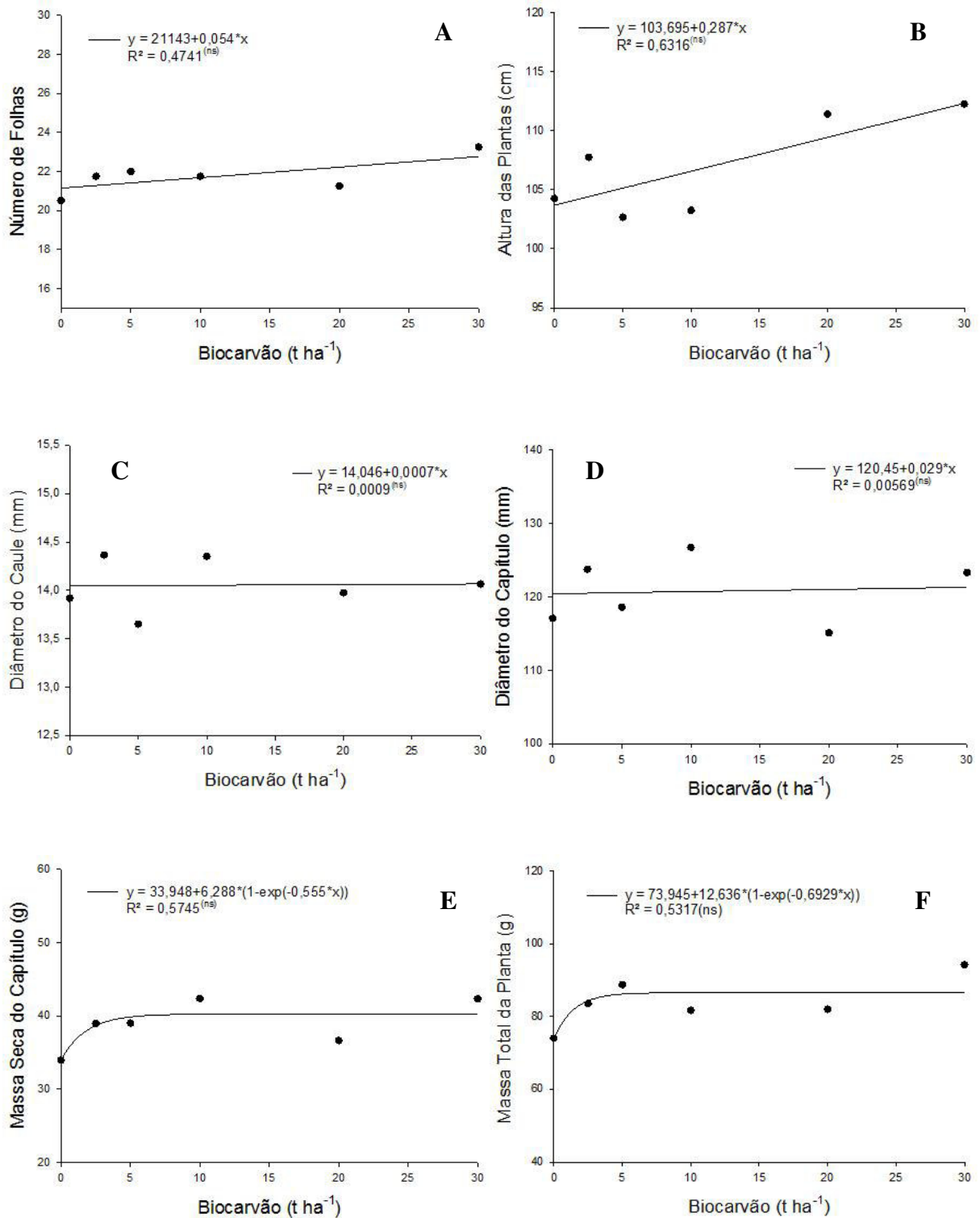
No presente estudo, a aplicação de doses crescentes de biocarvão, até 30 t ha<sup>-1</sup>, não resultou em variações significativas nos parâmetros relacionados ao desenvolvimento da

planta, o que provavelmente pode estar relacionado às baixas doses aplicadas. As características do solo utilizado bem como o manejo adequado da irrigação durante o ciclo da cultura podem também ter contribuído para os tímidos resultados obtidos. Sabe-se que o efeito do biocarvão tem maior abrangência em áreas com baixa precipitação pluviométrica e em solos arenosos, onde os benefícios se traduzem em redução nas taxas de aplicação de fertilizantes, pois o biocarvão oferece matriz para a retenção de nutrientes e permanece no solo por muitos anos ou décadas (ALLING et al., 2014), podendo ser esse um dos motivos da não influência do biocarvão quando se trata dos parâmetros relacionados a planta, já que todos os tratamentos recebiam a mesma lâmina de irrigação em intervalos pequenos, sendo realizada uma ou duas irrigações por dia caso necessário, para que as plantas em nenhum momento sofressem estresse hídrico, e adubações em quantidade e períodos recomendados. No entanto, sugere-se a utilização do biocarvão em diferentes lâminas de irrigação e diferentes doses e períodos de adubação.

Essa indiferença do biocarvão de casca de coco aplicado ao solo com relação ao desenvolvimento das plantas também é vista como ponto positivo, pois o biocarvão não se presta apenas a este fim, mas também pode atuar no sequestro de carbono, retenção de água no solo, retenção de elemento nocivos presentes no solo, sem causar quaisquer prejuízos às culturas.

Resultados diferentes foram observados por Lehmann et al. (2003) em trabalho realizado com feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e arroz (*Oryza sativa* L.) em solos tratados com biocarvão produzidos a partir de floresta secundária, onde observaram crescimento de 38% e aumento de 45% na produção de biomassa. Os autores também observaram melhor estado nutricional das plantas cultivadas. Os resultados de Lehmann et al. (2003) podem estar associados ao não uso de adubação, fato esse que pode ter contribuído para potencializar o efeito do biocarvão como fornecedor de nutrientes. Petter et al. (2012) utilizando biocarvão de eucalipto e Lima (2014) utilizando biocarvão de diferentes espécies do cerrados, também verificaram melhor desempenho agrônômico e maior produtividade da cultura do arroz de terras altas e soja, respectivamente.

Já Biederman e Harpole (2013) e Kammann et al. (2011) observaram reduções na produtividade vegetal em solos tratados com doses elevadas de biocarvão. Lehmann et al. (2006), também obtiveram resultados semelhantes quando utilizaram doses superiores a 55 t ha<sup>-1</sup>.

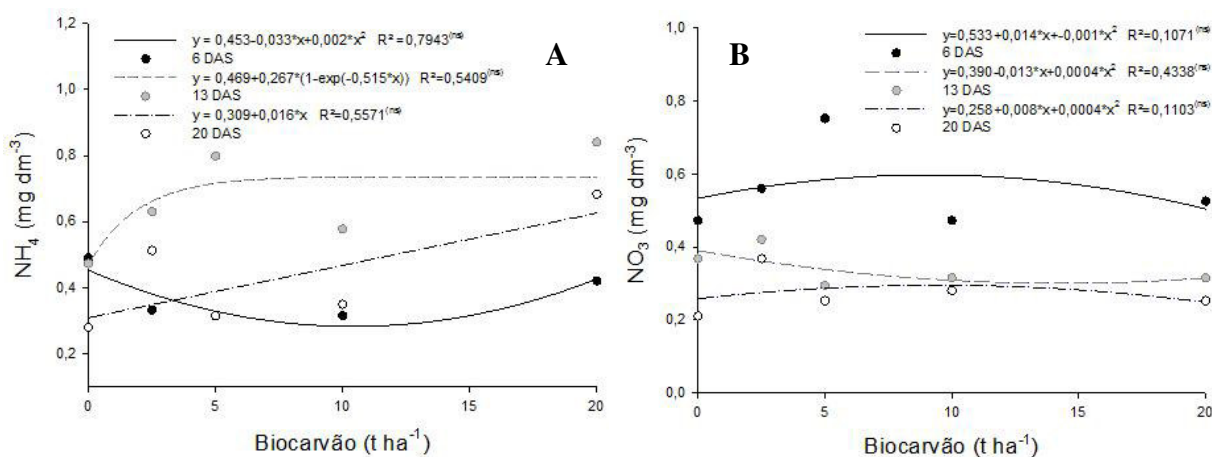


**Figura 4.6:** (A) Número de folhas, (B) Altura das plantas, (C) Diâmetro do caule, (D) Diâmetro do capítulo, (E) Massa seca do capítulo, (F) Massa seca total da planta, em função de doses de biocarvão,  $R^2$  seguido por \*\* e \* significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F e <sup>(ns)</sup> não significativo. São Cristovão-SE.

#### 4.3.2. Efeito do biocarvão em alguns parâmetros químicos da solução do solo

Há relatos na literatura a respeito da redução nas perdas de N e P em solos tratados com biocarvão (LEHMANN et al., 2003; DING et al., 2010; KNOWLES et al., 2011; YAO et al., 2012). Já Alho et al. (2012), verificaram influência do biocarvão nas emissões de óxido nítrico  $N_2O$  pelo solo que recebeu adubação nitrogenada na forma de ureia, sendo que doses maiores que  $5 \text{ t ha}^{-1}$ , contribuíram para uma mitigação das emissões de  $N_2O$ , consequentemente contribuindo com uma maior concentração de nitrogênio no solo. Porém, no presente estudo, a adição de diferentes doses de biocarvão de casca de coco não influenciou as concentrações de  $NH_4^+$  e  $NO_3^-$  na solução do solo quando comparadas com o controle (Figura 4.7.). Provavelmente as quantidades desses íons presentes no solo eram muito pequenas para que houvesse variação em função dos tratamentos, ou a metodologia usada para determinação desses compostos não possui alto nível de detecção.

Resultados diferentes foram observados por Ulyett et al. (2014), em estudo de incubação utilizando biocarvão produzido a partir de madeira mista de sicômoro (*Acer pseudoplatanus L.*), carvalho (*Quercus sp.*), faia (*Fagus sylvatica L.*) e bird cherry (*Prunus padus*), verificaram interação entre a concentração de nitrato e amônio no solo.



**Figura 4.7:** Concentração de amônio ( $NH_4$ ) e nitrato ( $NO_3$ ) na solução do solo na profundidade de 0-20 cm, em função das doses de biocarvão.  $R^2$  seguido por \*\* e \* significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F, e <sup>(ns)</sup> não significativo. São Cristovão-SE

A concentração de fósforo presente na solução do solo aos 6 dias após a semeadura (Figura 4.8 A), e a concentração do potássio nas três coletas na camada de 0-20 cm (Figura 4.8 B), apresentaram resposta positiva e linear com relação ao aumento da quantidade de biocarvão. Ao contrário da baixa concentração de N no biocarvão e no solo, as concentrações

de P e principalmente de K no biocarvão são relativamente altas (Tabela 2), o que provavelmente responde pelo significativo aumento desses elementos na solução do solo com o aumento das doses de biocarvão. A não interação entre a concentração de P e os tratamentos na profundidade de 0-20 cm na segunda coleta (13 DAS) (Figura 4.8 A), pode ter relação com a formação de compostos insolúveis, pois o P se apresenta no solo nas formas dos íons ortofosfato  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{HPO}_4^{2-}$ , dependendo do pH (HALVIN et. al., 2005), podendo formar esse compostos com o ferro, alumínio e manganês, compostos comumente encontrados no solo usado no estudo.

As concentrações do P na solução do solo na camada de 20-40 cm aumentaram principalmente na segunda coleta quando comparado à primeira, visto que o biocarvão não interferiu na concentração desse elemento na solução do solo em nenhuma das coletas (Figura 4.8 C). Esse fato possivelmente está associado à liberação de fósforo pelo adubo fosfatado aplicado na semeadura. Essa não interação entre os tratamentos e a concentração de P na camada de 20-40 cm sugere que o tratamento do solo com biocarvão não interfere na lixiviação desse elemento. Yao et al. (2012), utilizando colunas de lixiviação com biocarvão de diferentes matérias primas e temperaturas, observaram que dois biocarvões produzidos a 600° C apresentaram correlação com a concentração desse elemento no lixiviado, tendo o biocarvão de pimenta rosa contribuído com a redução desse elemento na concentração do lixiviado e o biocarvão de casca de amendoim contribuído positivamente.

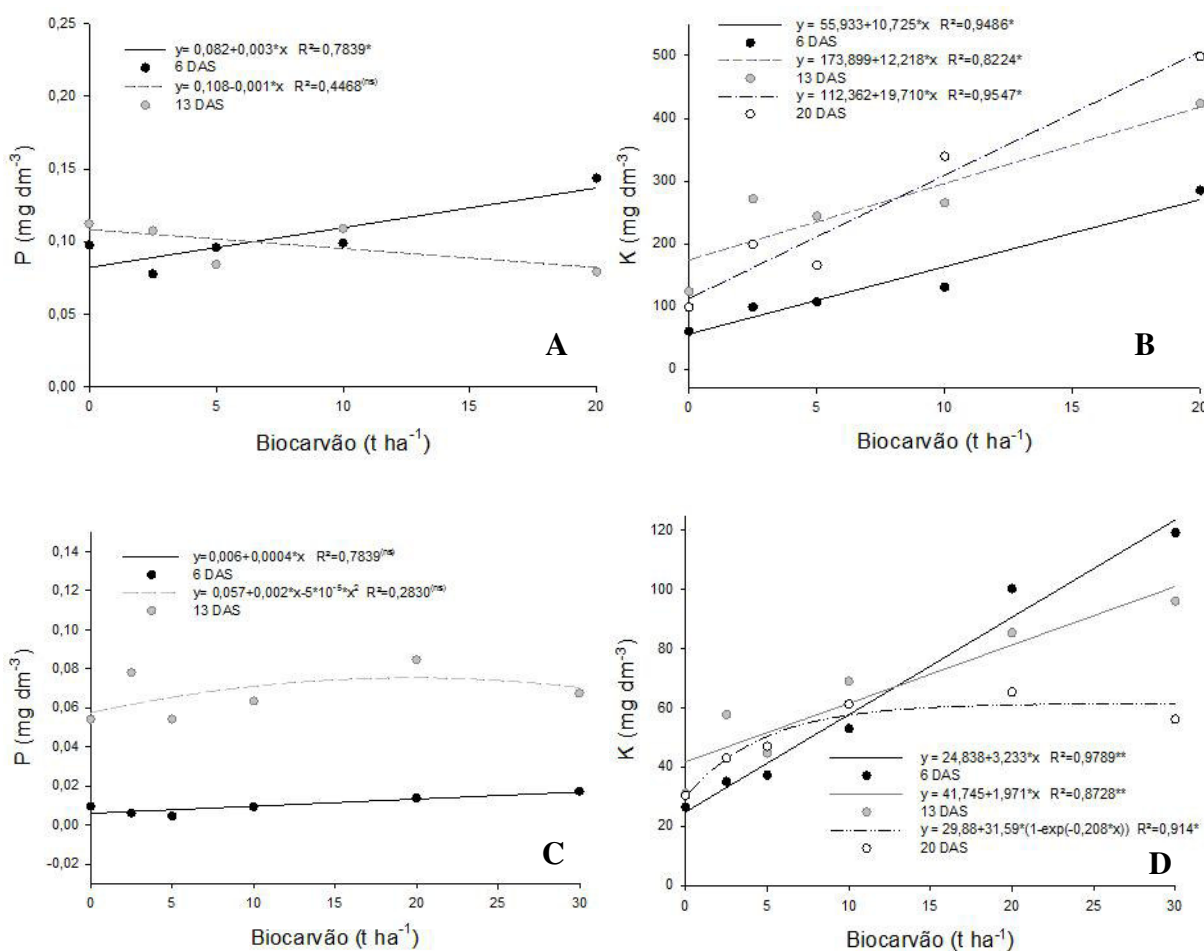
Morales (2010), utilizando como matéria prima biomassa de capim elefante, serragem, madeira e palha de cana-de-açúcar, também encontrou resultados semelhantes, verificando uma maior dessorção de P, tendo atribuído esse resultado a grande concentração de P presente no biocarvão, igual a 1484 mg kg<sup>-1</sup>. Portanto, a adição de biocarvão em solos excessivamente arenosos, apesar de promover melhores respostas em termos de produtividade das culturas e melhoria da qualidade do solo, deve levar em consideração a concentração de elementos químicos em sua composição que podem ser disponibilizados para a solução do solo e potencialmente removidos do sistema.

Ao observar os resultados do K na profundidade 0-20 cm (Figura 4.8 B), verifica-se que, nos tratamentos que receberam as duas maiores doses de biocarvão, as concentrações de K na terceira coleta foram superiores a primeira e a segunda coletas, indicando que o K continua sendo liberado pelo biocarvão com o passar do tempo. De acordo com Restrepo (1994), o biocarvão tem a capacidade de reter e liberar nutrientes para os vegetais, de forma gradual. Esse aumento na concentração de P em um curto período e K na solução do solo em função das doses de biocarvão não resultaram em mudanças no desenvolvimento das plantas



de girassol, o que sugere um consumo de luxo por parte das plantas, onde ocorre uma maior absorção de determinado nutriente sem que ocorra aumento da produtividade, Gaskin (2010), em solo tratados com biocarvão de casca de amendoim observou maior concentração de potássio nos tecidos das plantas cultivadas, porém esses aumento não proporcionou ganhos de produtividade.

Diferente do fósforo, o potássio na solução coletada na camada de 20-40 cm apresentou interferência significativa dos tratamentos em todas as coletas (Figura 4.8 D), causando um aumento com comportamento linear para a primeira e segunda coleta e um comportamento exponencial com certa estabilização nos valores do K próximos a dose de 10 t ha<sup>-1</sup>, para a terceira coleta (Figura 4.8 D). Esse aumento no fluxo de K para as camadas mais profundas do solo em função das doses sugere que o biocarvão contribui com uma maior lixiviação desse elemento, aumento esse que provavelmente foi causado pela grande quantidade de K fornecido pelo biocarvão, visto que esse é um elemento presente em grande quantidade nesse material, basta observar a Tabela 2.

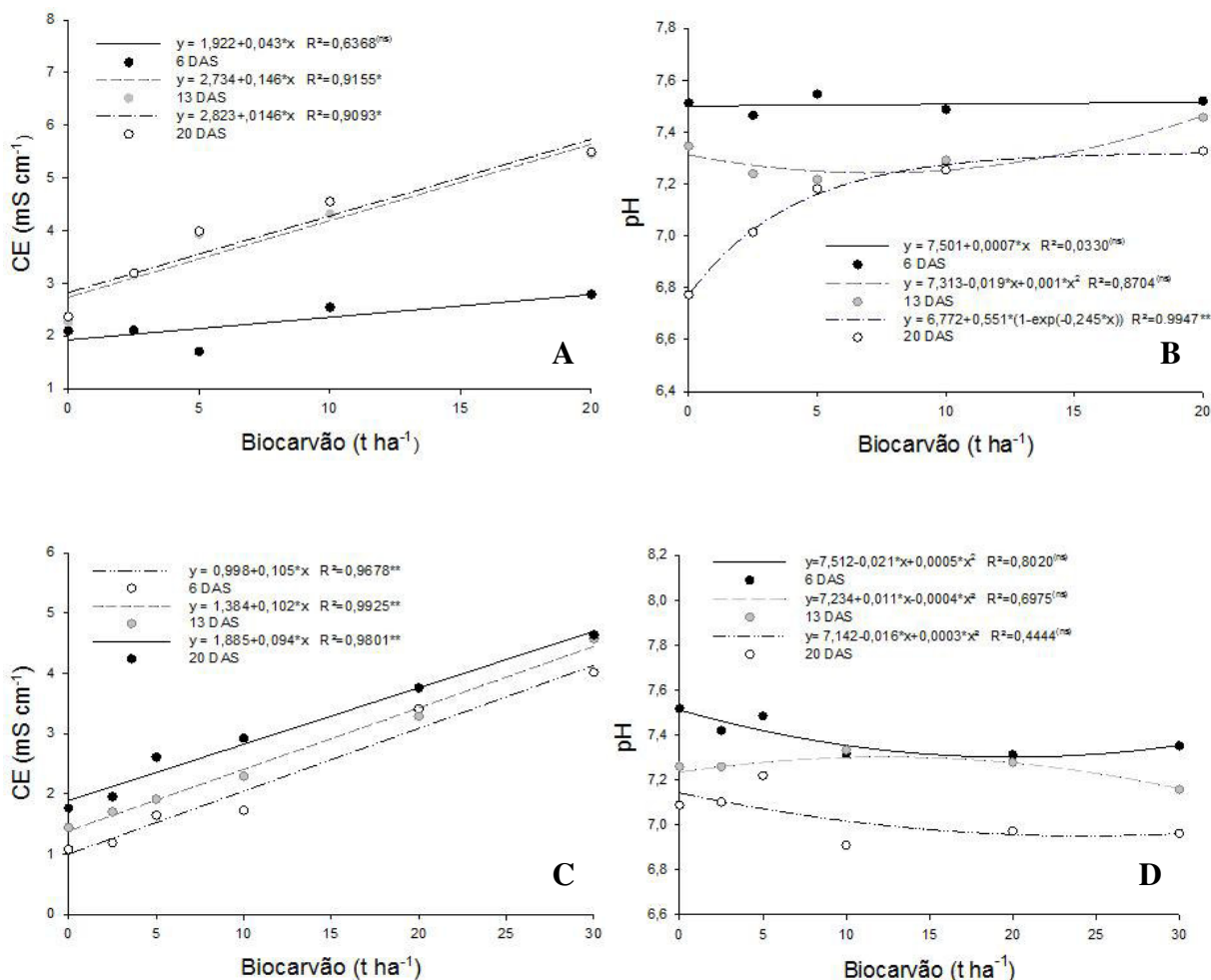


**Figura 4.8:** (A) Concentração fósforo e (B) concentração de potássio na solução do solo na profundidade de 0-20 cm, (C) Concentração fósforo e (D) concentração de potássio na solução do solo na

profundidade de 20-40 cm, em função das doses de biocarvão,  $R^2$  seguido por \*\* e \*significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F e <sup>(ns)</sup> não significativo. São Cristóvão-SE.

O aumento da concentração de K na solução do solo, e provavelmente de Na, visto que esses são elementos abundantes nesse material, possivelmente foram os elementos que mais contribuíram para o aumento nos valores da condutividade elétrica (CE) da solução do solo em função dos tratamentos aplicados seja na profundidade de 0-20 cm (Figura 4.9 A) ou na 20-40 cm (Figura 4.9 C), porém a elevação da CE pode causar problemas e limitar o aproveitamento do biocarvão como insumo e condicionador de solo, pois a elevação excessiva nos valores da condutividade elétrica na solução pode tornar o solo salino e impróprio ao cultivo, nos solos salinos há uma grande diminuição da disponibilidade de água, pois aumenta a pressão osmótica na solução do solo e a planta tem seu crescimento inibido, podendo chegar até a morte do vegetal, fato esse que não ocorreu no referido estudo, pois em nenhum tratamento mesmo no tratamento que recebeu a maior dose não foi observado nenhum prejuízo ao desenvolvimento do girassol, mas nos deixa em alerta quanto à utilização de biocarvão em doses maiores que as avaliadas nesse estudo, sendo necessárias mais pesquisas para detectar os limites da aplicação desse material.

O pH da solução do solo apresentou valores relativamente altos para todos os tratamentos em todas as coletas (Figura 4.9 B). Esses valores possivelmente sofreram influência da água utilizada na irrigação (pH 7,3). O único momento em que pode-se observar influência dos tratamentos foi na terceira coleta, sendo verificado um comportamento exponencial do pH em função das doses de biocarvão (Figura 4.9 B). Também avaliando o gráfico da (Figura 4.9 B), constatou-se que no tratamento controle ( $0 \text{ t ha}^{-1}$ ) e no tratamento com a menor dose ( $2,5 \text{ t ha}^{-1}$ ), ocorreu um aumento mais acentuado na acidez da solução com o passar do tempo, possivelmente causado pela liberação de exudados das raízes do girassol. Já nos demais tratamentos, observa-se uma maior estabilidade nesse parâmetro para as diferentes coletas, causa que pode estar relacionada ao pH do biocarvão (Tabela 2), já o pH da camada de 20-40 cm não sofreu qualquer influência dos tratamentos (Figura 4.9 D). Elevação do pH do solo pela adição de biocarvão é um aspecto desejável do uso desse material, principalmente em solos tropicais muito intemperizados e de elevada acidez. Andrade et al. (2015) em experimento de incubação utilizando como matéria prima para produção do biocarvão cama de franco observou aumento no pH do solo após 68 dias.



**Figura 4.9:** (A) Condutividade elétrica e (B) pH na solução do solo na profundidade de 0-20 cm, (C) Condutividade elétrica e (D), pH na solução do solo na profundidade de 20-40 cm, em função das doses de biocarvão,  $R^2$  seguido por \*\* e \*significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F e <sup>(ns)</sup> não significativo. São Cristovão-SE.

#### 4.4- CONCLUSÃO

A adição do biocarvão proporcionou um aumento nos níveis de P e K na profundidade de 0-20 cm, fato esse pode ser bastante positivo, podendo atribuir ao biocarvão o papel de fertilizante, porém contribuiu com o aumento na lixiviação de potássio visto que aumentou os níveis desse elemento na profundidade de 20-40 cm.

Aumentou a CE da solução do solo nas duas profundidades estudadas, podendo ser este um limitante a sua utilização e grandes quantidades.

Nas doses utilizadas nesses estudos o biocarvão não proporcionou nenhum benefício nem prejuízos ao desenvolvimento e produção de biomassa do girassol, fato esse que é visto positivamente, pois permite a utilização deste material no solo para outros fins.

#### 4.5-REFERÊNCIAS

ABNT. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**. Carvão Vegetal - Análise Imediata. NBR-8112 (MB1857), 1986.

ALHO, C. F. B. V.; CARDOSO, A. da S.; ALVES, B. J. R.; NOVOTNY, E. H. Biochar and soil nitrous oxide emissions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 5, p. 722-725, 2012.

ALLING, V.; HALE, S.E.; MARTINSEN, V.; MULDER, J. SMEBYE, A.; REEDVELD, G.D.; CORNELISSEN, G. . The role of biochar in retaining nutrients in amended tropical soils. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 177, p. 671–680, 2014.

ANDRADE, C.A.; BIBAR, M.P.S.; COSCIONE, A.R.; PIRES, A.M.M.; SOARES, Á.G. Mineralização e efeitos de biocarvão de cama de frango sobre a capacidade de troca catiônica do solo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.50, n.5, p.407-416, 2015.

BIEDERMAN, L.A.; HARPOLE, W.S. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: A meta-analysis. **GCB Bioenergy**, v.5, p.202–214, 2013.

CORRIVEAU, J.; VAN BOCHOVE, E.; SAVARD, M. M.; CLUIS, D.; PARADIS, D. Occurrence of High In-Stream Nitrite Levels in a Temperate Region Agricultural Watershed. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 206, p. 335-347, 2009.

DING, Y.; LIU, Y.-X.; WU, W.-X.; SHI, D.-Z.; YANG, M.; ZHONG, Z.-K. Evaluation of Biochar Effects on Nitrogen Retention and Leaching in Multi-Layered Soil Columns. **Water Air Soil Pollut**, v.213, p.47–55, 2010.

FAO - **FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS**. 2013. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>> Acesso em 16 de dezembro de 2015.

GASKIN, J.W. ; SPEIR, R. A.; HARRIS, K.; DAS, K. C.; LEE, R. D.; MORRIS, L. A.; Fisher, D.S. Effect of Peanut Hull and Pine Chip Biochar on Soil Nutrients, Corn Nutrient Status, and Yield. **Agronomy Journal**, v. 102, p. 623-633, 2010.

GRABER E.R.; MELLER-HAREL Y.; KOLTON M.; CYTRYN, E.; SILBER, A.; DAVID, D.R.; TSECHANSKY, L.; BORENSHTEIN, M.; ELAD, Y. Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. **Plant and Soil**, v.337, p.481-496, 2010.

HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L. e NELSON, W.L. Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management. 7ed. New Jersey: Pearson- prentice hall, 2005. 219p.

KAMMANN, C.I.; LINSEL, S.; GÖBLING, J.W.; KOYRO, H.W. Influence of biochar on drought tolerance of *Chenopodium quinoa* Willd and on soil-plant relations. **Plant Soil**, v.345, p.195–210, 2011.

KNOWLES, O.A.O.; ROBINSON, B.H.B.; CONTANGELO, A.A.; CLUCAS, L.L. Biochar for the mitigation of nitrate leaching from soil amended with biosolids. **Science of the Total Environment**, v.409, p. 3206-3210, 2011.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. Tese (Doutorado em Ciências), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LEHMANN J, SILVA JUNIOR, J.P.; STEINER, C.; NEHLS, T.; ZECH, W.; GLASER B. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. **Plant and Soil**, v.249, p.343–357, 2003.

LEHMANN, J.; GAUNT, J.; RONDON, M. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems - A review. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v.11, p.403–427, 2006.

LIMA, L.B. **Desempenho agrônomo da soja, fertilidade e dinâmica da matéria orgânica em solo sob aplicação de biochar no cerrado brasileiro**. 2014. 81p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás Goiânia, Goiânia, 2014.

LIRA, M.A.; CARVALHO, H.W.L.; CHAGAS, M.C.M.; BRISTOT, G., DANTAS, J.A.; LIMA, J.M.P. **Avaliação das potencialidades da cultura do girassol, como alternativa de cultivo no semiárido nordestino**, Natal- RN: EMPARN, 2011. 41p.

MORALES, M. M. **Efeito do biocarvão sobre o comportamento da matéria orgânica e do fósforo em solo degradado**. 2010. 88 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP. Campus de Botucatu-SP. 2010.

PETTER, F. A.; MADARI, B. E.; SILVA, M. A. S. da; CARNEIRO, M. A. C.; CARVALHO, M. T. de M.; MARIMON JÚNIOR, B. H.; PACHECO, L. P. Soil fertility and upland rice yield after biochar application in the Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 5, p. 699-706, 2012.

RESTREPO R.J. **La idea y el Arte de fabricar los abonos orgánicos fermentados: aportes y recomendaciones ; una experiencia de agricultores en Centroamérica y Brasil**. Cali: SIMAS, 1998.

SANTOS, L.G.; SOUZA, U.O.; CARVALHO, Z.S.; PRIMO, D.C.; SANTOS, A.R. Análise de Crescimento do Girassol em Função do Suprimento de Fósforo e Boro. **Biosci. J.**, v. 31, n.2, p. 370-381, 2015.

SERGIPE. **Atlas Digital sobre Recursos Hídricos do Estado de Sergipe**. Aracaju: Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos/Superintendência de Recursos Hídricos - SEMARH/SRH, (CD ROOM), 2013.

SILVA, F.C. (Ed.). **Manual de análise química de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos, 2009.

SILVA, D.F.; ANDRADE, C.L.T.; SIMEONE, M.L.F.; AMARAL, T.A.; CASTRO, L.A.; MOURA, B. F. **Análise de Nitrato e Amônio em Solo e Água. Minas Gerais: Embrapa Milho e Sorgo**, 2010. 56p.

SOUCHIE, F.F.; MARIMON JUNIOR, B. H.; PETTER, F.A.; MADARI, B.E.; MARIMON, B.S.; LENZA, E. Carvão pirogênico como condicionante para substrato de mudas de *Tachigali vulgaris* L. **Ciência Florestal, Santa Maria**, v. 21, n. 4, p. 811-821, 2011.

SOHI, S.P.; KRULL, E.; LOPEZ-CAPEL, E. & BOL, R. A review of biochar and its use and function in soil. In: SPARKS, D.L. (Ed.) **Advances in Agronomy**. Publisher Elsevier Academic Press Inc., San Diego, 2010, p.47-82.

ULYETT, J.; SAKRABANI, R.; KIBBLEWHITE, M.; HANN, M. Impact of biochar addition on water retention, nitrification and carbon dioxide evolution from two sandy loam soils. **European Journal Of Soil Science**, v.65, p.96-104, 2014.

VERHEIJEN, F.; JEFFERY, S.; BASTOS, A. C.; VAN DER VELDE, M. I.; DIAFAS I. **Biochar application to soils - A critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions**. Luxembourg: European Commission, 2010. 149p.

YAO, Y.; GAO, B.; ZHANG, M.; INYANG, M.; ZIMMERMAN, A.R. Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil. **Chemosphere**, v.89. p. 1467–1471, 2012.

## 5- CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados obtidos mostraram que o biocarvão produzido a partir da casca de coco seco, pode ser sim uma alternativa a destinação desse resíduo, e posterior aplicação ao solo, pois influenciou nos parâmetros físicos e químicos relacionados ao solo. A adição do biocarvão ao solo proporcionou melhorias significativas nas características físico-hídricas do solo como a manutenção da densidade do solo, aumento na retenção de água e na microporosidade podendo contribuir com uma maior eficiência no uso da água seja esta proveniente de irrigação ou precipitação.

As propriedades químicas do solo também foram favorecidas com a presença do biocarvão, o qual mostrou potencial para uso como corretivo da acidez e como fonte de nutrientes como P e K. Porém a sua aplicação deve ser bem assistida por possuir características químicas limitantes como elevado pH, condutividade elétrica e elevadas concentrações de K e Na, sua utilização também proporcionou aumento e manutenção dos estoques de carbono no solo, porém avaliações da mineralização da matéria orgânica do solo pode melhor esclarecer o efeito do biocarvão na matéria orgânica nativa do solo.

A adição do biocarvão proporcionou um aumento nos níveis de P e K na profundidade de 0-20 cm, fato esse pode ser bastante positivo, podendo atribuir ao biocarvão o papel de fertilizante, porém contribuiu com o aumento na lixiviação de potássio visto que aumentou os níveis desse elemento na profundidade de 20-40 cm. Causou aumento na CE da solução do solo nas duas profundidades estudadas, podendo ser este um limitante a sua utilização e grandes quantidades.

Apesar das mudanças causadas nas propriedades físicas e químicas do solo nenhum benefício ou prejuízos foram observados na produção de biomassa do girassol visto que é visto positivamente, pois permite a utilização deste material no solo para outros fins como sequestro de carbono, substituição de alguns fertilizantes químicos, destinação de resíduos sólidos, aumento da retenção de água nos solos, sem causar prejuízos ao desenvolvimento da cultura instalada.